

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra technologických zařízení staveb



Bakalářská práce

**Způsoby separace primárních poloproduktů při
mechanickém zpracování elektroodpadu**

Radek Bažík

© 2024 ČZU v Praze

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Radek Bažík

Technologická zařízení staveb
Zařízení pro využití odpadů

Název práce

Metody separace primárních poloproduktů při mechanickém zpracování elektroodpadu

Název anglicky

Methods of separation of the primary semi-product during the mechanical processing of electronic waste

Cíle práce

Cílem první části práce je zjistit aktuální stav a trendy v oblasti sběru a shromažďování odpadních elektrických a elektronických zařízení (OEEZ).

Druhým cílem práce je charakteristika materiálů užívaných při konstrukci částí a celků elektronických zařízení, jejich vlastností a konkrétní oblasti využití.

Třetím cílem práce je popsání technologických postupů a zařízení využívaných k prvotní demontáži elektrozařízení a následné separaci primárních poloproduktů. Následuje porovnání těchto metod a jejich zhodnocení. Následuje materiálová charakteristika vybraných výstupů primární separace a návrh postupů a technologií k jejich následnému zpracování.

Metodika

Pro lepší pochopení dané problematiky provést analýzu sběru elektroodpadů v České republice, její legislativní rámec a technické prostředky využívané ke sběru.

Zpracování přehledu využívaných materiálů, jejich vlastností a použití v elektronických zařízeních.

Na základě podrobného rešeršního průzkumu v oblasti sběru OEEZ, jejich charakteristiky a používaných materiálů je stavěn návrh zpracování přehledu současných systémů separace primárních poloproduktů vzniklých při demontážním a zpracovatelském procesu. Tyto metody jsou vzájemně porovnány a jsou popsány technologie pro zpracování jejich výstupů.

Doporučený rozsah práce

35-40

Klíčová slova

zpracování odpadu, elektroodpad, separace, životní prostředí, recyklace, OEEZ

Doporučené zdroje informací

SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2012/19/EU: o odpadních elektrických a elektronických zařízeních (OEEZ)

Vyhláška č. 8/2021 Sb., o Katalogu odpadů a posuzování vlastností odpadů (Katalog odpadů)

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

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

Předběžný termín obhajoby

2023/2024 LS – TF

Vedoucí práce

Ing. Jan Sander, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra technologických zařízení staveb

Elektronicky schváleno dne 31. 3. 2024

doc. Ing. Jan Malaťák, Ph.D.

Vedoucí katedry

V Praze dne 01. 04. 2024

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Způsoby separace primárních poloproduktů při mechanickém zpracování elektroodpadu" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské 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 uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 31.03.2024

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval mému vedoucímu práce, Ing. Janu Sanderovi, PhD, za odbornou pomoc, konzultace a cenné připomínky při vedení bakalářské práce. Zároveň bych rád poděkoval Josefu Havránkovi, Oldřichu Hladíkovi a Ing. Petru Ulrichovi za poskytnutý elektroodpad použitý při výzkumu.

Způsoby separace primárních poloproduktů při mechanickém zpracování elektroodpadu

Abstrakt

Bakalářská práce je zaměřena na téma „Způsoby separace primárních poloproduktů při mechanickém zpracování elektroodpadu“. První část literární rešerše referuje o samotných definicích vyřazených elektrických a elektronických zařízení, jeho dělení do skupin dle původu a účelu jeho využití a legislativně zastřešuje podmínky pro nakládání s ním. Seznamuje čtenáře s historickými milníky sběru elektroodpadu v České republice a volně navazuje soupisem dnešních metod a trendů v oblasti nakládání s ním. Zmiňuje technické prostředky užívané k jeho sběru, přepravě a skladování, jejich parametry a staví je do roviny každodenního využití. Druhá část literární rešerše referuje o materiálech používaných ve výrobě elektrozařízení, jejich základních vlastnostech a problematikou jejich recyklace. Zmiňuje též toxicitu vybraných materiálů a zmiňuje součásti, ve kterých jsou využívány. Praktická část bakalářské práce aplikuje legislativní rámec na technologické celky a procesy zpracování elektroodpadu a detailně popisuje metody mechanické separace primárních frakcí. Metody mezi sebou porovnává jejich podrobným rozbohem na vybraném typu vysloužilého zařízení (osobní počítač) a zmiňuje jejich hlavní klady a zápory. V závěrečné části praktické práce navrhuje technologie pro následné mechanické zpracování výstupů primární separace.

Klíčová slova: zpracování odpadu, elektroodpad, separace, životní prostředí, OEEZ

Methods of separation of the primary semi-product during the mechanical processing of electronic waste

Abstract

The bachelor thesis is aimed on the topic "Methods of separation of primary semi-product during mechanical processing of electronic waste". The first part of the literature search reports on the definitions of discarded electrical and electronic equipment, its division into groups according to its origin and purpose of its use and covers the legislative conditions for its management. It introduces the reader to the historical milestones of the collection of e-waste in the Czech Republic and loosely follows up with an inventory of today's methods and trends in its management. It mentions the technical means used for its collection, transport and storage, their parameters and puts them into the plane of everyday use. The second part of the literature search reports on the materials used in the production of electrical equipment, their basic properties and the issue of their recycling. It also mentions the toxicity of selected materials and mentions the components in which they are used. The practical part of the bachelor thesis applies the legislative framework to the technological units and processes of e-waste treatment and describes in detail the methods of mechanical separation of primary fractions. It compares the methods with each other by their detailed analysis on a selected type of end-of-life equipment (personal computer) and mentions their main pros and cons. In the final part of the practical work, it proposes technologies for subsequent mechanical processing of the primary separation outputs.

Keywords: waste processing, electronic waste, separation, environment, W E E E

Obsah

1	Uvod	1
2	Cíl práce a metodika	2
2.1	Cíl práce	2
2.2	Metodika	2
3	Problematika recyklace elektroodpadu	3
3.1	Právní předpisy v odpadovém hospodářství	3
3.1.1	Zákon č. 541/2020 Sb. o odpadech	3
3.1.2	Zákon č. 542/2020 Sb. o výrobcích s ukončenou životností	3
3.1.3	Vyhláška č. 8/2021 Sb. o katalogu odpadů a posuzování jeho vlastností	4
3.1.4	Vyhláška 16/2022 Sb. o podrobnostech nakládání s některými výrobky s ukončenou životností	4
3.1.5	Směrnice evropského parlamentu a rady 2012/19/EU o odpadních elektrických a elektronických zařízeních	4
3.1.6	Skupiny OEEZ dle platné legislativy	5
3.2	Recyklace elektroodpadu nejen v České republice	7
3.2.1	Počátky sběru elektroodpadu v České republice	8
3.2.2	Sběrné nádoby na elektroodpad	9
3.2.3	Kolektivní systémy sběru elektroodpadu v České republice	14
3.2.4	Statistika sběru elektroodpadu v České republice	16
3.2.5	Statistika sběru elektroodpadu ve světě	18
4	Materiálová charakteristika OEEZ	19
4.1	Identifikace OEEZ	19
4.2	Kovové materiály	19
4.2.1	Železo a jeho slitiny	19
4.2.2	Měď a její slitiny	20
4.2.3	Hliník a jeho slitiny	20
4.2.4	Cín a olovo	21
4.2.5	Drahé kovy	21
4.2.6	Ostatní kovy	22
4.3	Nekovové materiály	23
4.3.1	Plasty	23
4.3.2	Polovodičové prvky	24
4.4	Ostatní a nebezpečné materiály	24
4.4.1	Ostatní materiály	24
4.4.2	Toxické a jinak nebezpečné materiály	24

5	Technologické postupy a celky pro recyklaci a separaci.....	26
5.1	Základní pojmy.....	26
5.2	Požadavky na zpracovatele.....	26
5.2.1	Vybrané povinnosti.....	26
5.2.2	B A T techniky.....	27
5.3	Primární mechanická separace.....	27
5.3.1	Podstata primární separace.....	27
5.3.2	Využití primární separace.....	27
5.3.3	Metody primární mechanické separace.....	29
5.3.4	Metodické porovnání způsobů demontáže.....	32
5.4	Technologická zařízení ke zpracování produktů primární separace.....	34
5.4.1	Charakteristika vstupních a výstupních materiálů.....	34
5.4.2	Technologické procesy a zařízení pro dezintegrační zpracování výstupů primární separace.....	37
5.4.2.1	Drcení.....	37
5.4.2.2	Mletí.....	39
6	Výsledky a diskuse.....	40
7	Závěr.....	41
8	Seznam použitých zdrojů.....	42

Seznam obrázků

Obrázek 1	Wintejner.....	10
Obrázek 2	Miniwin.....	11
Obrázek 3	Sběrná nádoba ASEKOL.....	11
Obrázek 4:	E-box ASEKOL.....	12
Obrázek 5:	Nádoba na trubice.....	14
Obrázek 6	Hmotnostní podíl kovů ve vybraných komponentech OEEZ.....	22
Obrázek 7	Lukas S377.....	30
Obrázek 8	Odizolovací stroj VEVOR.....	31
Obrázek 9	Dvuhřídelový drtič Terier.....	38

Seznam tabulek

Tabulka 1 Provozovatelé KS 1	15
Tabulka 2 Provozovatelé KS 2	16
Tabulka 3 Nebezpečné vlastnosti komponent OEEZ	25
Tabulka 4 Částečná demontáž PC.....	32
Tabulka 5 Úplná demontáž PC.....	33
Tabulka 6 Drcení celých PC.....	33
Tabulka 7 Výstupy zpracování primární separace a nejpoužívanější metody zpracování ..	36

Seznam zdrojů

Zdroj: 1 https://www.elektrowin.cz/sberne-prostredky.html	10
Zdroj: 2 https://www.elektrowin.cz/sberne-prostredky.html	11
Zdroj: 3 https://www.cervenekontejnery.cz/	11
Zdroj: 4 https://www.asekol.cz/kartonove-krabice/	12
Zdroj: 5 https://www.asekol.cz/nadoby-pro-svetelne-zdroje/	14
Zdroj: 6 https://www.mzp.cz/cz/kolektivni_systemy_oeez	15
Zdroj: 7 www.mzp.cz/cz/kolektivni_systemy_oeez	16
Zdroj: 8 https://euractiv.cz/section/obehove-hospodarstvi/linksdossier/odpad-je-surovinou-budoucnosti-potencial-maji-i-stara-elektrozarizeni-jak-s-nimi-evropa-naklada/	17
Zdroj: 9 https://www.statista.com/statistics/1067081/generation-electronic-waste-globally-forecast/	18
Zdroj: 10 Extraction of metals in electronic waste - [27].....	22
Zdroj: 11 [36].....	25
Zdroj: 12 https://www.nordstahlservis.cz/	30
Zdroj: 13 https://eur.vevor.com	31
Zdroj: 14 Vlastní.....	32
Zdroj: 15 Vlastní.....	33
Zdroj: 16 Vlastní.....	33
Zdroj: 17 - [38][39][40].....	36
Zdroj: 18 https://www.terier.cz/cz/vyrobky/drtice/2-hridelove-drtice/drtice-dvouhridelove-pro-velke-vykony	38

1 Uvod

Již dávno jsou pryč doby, kdy lednice sloužily i více než dvě generace a černobílé televize bývaly součástí dědického řízení. Nebývalý technologický pokrok a rozvoj dostal společnost do bodu, ve kterém jsme dnes. Lednice obměňujeme jednou za pět let a vlastnění televizoru též není žádnou raritou. Technologický a elektronický boom na počátku milénia přispěl ke zvýšenému blahobytu společnosti a dnes si život bez elektroniky už nedokážeme představit. Vzhledem k dynamickému vývoji elektroniky se nezřídka stává, že technologicky zaostalými se stávají přístroje, které jsou plně funkční. Klesající náklady na výrobu, rychlý vývoj a tím pádem i rychlé zastarávání a nové typy přístrojů jsou benefitem pro společnost, nicméně i výzvou pro životní prostředí.

Z tohoto důvodu se s rychle rostoucím rozvojem elektrozařízení začala ruku v ruce rozvíjet potřeba recyklace jeho dosloužilých předchůdců. Typickou nevýhodou a samotnou charakteristikou tohoto odpadu je jeho vysoká nehomogenost, široká paleta použitých materiálů a problémová recyklovatelnost. Tyto vlastnosti korunuje toxicita vybraných prvků.

Recyklace elektroodpadů tudíž není výzvou pouze pro životní prostředí, nýbrž i pro recyklační společnosti a samotné občany - právě na občanech leží zodpovědnost za vhodné nakládání s tímto druhem odpadu. Tento pojem byl pro občany ještě před několika lety připodobňován spíše k nějakému zaklínadlu, nicméně v posledních letech se povědomí o nutnosti recyklace mezi lidmi zlepšuje a dle statistik má množství separovaného stoupající tendenci.

Materiály užívané při výrobě a konstrukci elektrospotřebičů nemají však pouze toxické vlastnosti, ale obsahují množství znovu využitelných a recyklovatelných materiálů, včetně těch vzácných. Recyklací elektroodpadu tedy neeliminujeme pouze jeho toxické vlastnosti, nýbrž navracíme spoustu materiálů zpět do oběhu ve formě druhotných surovin.

Samotné technologie recyklace a separace těchto materiálů jsou v dnešní době na vzestupu, výrobci i občané si uvědomují omezený rozsah přírodních zdrojů a probíhají masivní investice do rozvoje pokročilých recyklačních technologií. Díky nim se elektroodpad rázem mění na alternativní zdroj cenných surovin a díky celému procesu recyklace dochází k odlehčení primárních zdrojů materiálu i energie.

2 Cíl práce a metodika

2.1 Cíl práce

Prvním cílem této bakalářské práce je zhodnocení aktuální problematiky a trendů nakládání s elektroodpady, způsobů jejich sběru, shromažďování a recyklace nejen v České republice, ale i ve světě. Práce charakterizuje historické i současné metody sběru, technická zařízení k tomu určená a tyto postupy staví do roviny s platnou legislativou.

Druhým cílem je zjištění charakteristiky materiálů zastoupených a používaných při výrobě elektrozařízení, jejich vlastnosti a konkretizace účelu jejich využití. Na tomto základě je následně stavěna praktická část práce.

Třetím a zároveň hlavním cílem práce je seznámení se s principem primární separace v recyklačním procesu, jeho metodami a aplikací na konkrétní typ vyřazeného elektrozařízení - v tomto případě stolního počítače. Práce tyto metody porovnává mezi sebou a závěrem navrhuje možnosti následného mechanického zpracování výstupních součástí z tohoto procesu.

2.2 Metodika

Metodika rešeršní části je stavěna na přehledu poznatků z odborné literatury. První část práce obsahuje zastřešení celé práce legislativním rámcem s následným propojením do aktuálních trendů sběru elektroodpadu. Zde jsou popsány kolektivní systémy sběru elektroodpadu, technická zařízení pro stacionární a mobilní sběr elektroodpadů včetně jejich podrobného technického popisu a statistické porovnání s minulými lety. Ve druhé části jsou rozepsány materiály používané při výrobě elektrozařízení, včetně jejich základních vlastností a toxicity. Třetí, praktická část, popisuje metody primární separace poloproduktů, jejich podstatu a přímou aplikaci. Uvedeny jsou příklady využívaných strojních zařízení a vhodnost vybraných druhů elektrozařízení dle volby jednotlivých způsobů zpracování. V závěrečné kapitole je provedeno srovnání těchto metod, popsány výhody a nevýhody a také technologická zařízení určená pro tyto operace.

3 Problematika recyklace elektroodpadu

3.1 Právní předpisy v odpadovém hospodářství

S dnešní legislativou a technickými možnostmi má už jen pramálo společného, byla by však velká škoda, kdyby byl opomenut. Psal se rok 1991, řízených skládek odpadů by se dalo napočítat na prstech jedné ruky a pokud už chtěl občan té doby takové zařízení shlédnout, musel se vydat na exkurzi do sousedního Německa nebo Rakouska.

Nepsal se však pouze rok 1991, nýbrž i první stavební kámen dnešní odpadové legislativy. Dne 22.5. téhož roku byl schválen zákon č. 238/1991 - „první“ zákon o odpadech. V té době zákon průlomový, na dnešní dobu však krajně nedostačující [1].

Píše se rok 2024 a se změnou trendů v nakládání s odpady jdou ruku v ruce nové technologie a samozřejmě i legislativa. V následujících podkapitolách budou popsány hlavní právní rámce a úpravy pro nakládání s odpady.

3.1.1 Zákon č. 541/2020 Sb. o odpadech

Platným zákonem vymezující nakládání s odpady najdeme pod číslem 541/2020 Sb. -zákon o odpadech, účinný od 01.01.2021. Zákon vhodně reaguje na implementaci pokročilých metod předcházení vzniku a samotného nakládání s odpady, definuje cirkulární (oběhovou) ekonomiku a zasazuje Evropské směrnice a nařízení do naší legislativy. Nastaven je pro maximální ochranu životního prostředí a udržitelné využívání přírodních zdrojů za současné ekonomické a sociální únosnosti.

Tento zákon definuje a zpřehledňuje vytyčené cíle v odpadovém hospodářství, připravuje půdu pro plynulejší zavádění tzv. oběhového hospodářství a taktéž definuje metody zpracování a odstraňování jednotlivých kategorií odpadů [2] [3].

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

Zákon o výrobcích s ukončenou životností doplňuje zákon o odpadech a zavádí rozšířenou odpovědnost výrobce. Za podmínek, že se jedná o výrobek určený na trh v České republice a jedná se dle zákona o elektrozařízení, akumulátory a pneumatiky, musí výrobce zajistit jejich zpětný odběr a recyklaci v souladu se zákonem 541/2020 Sb. Musí též informovat spotřebitele, jakým způsobem musí naložit s výrobkem, který ukončil svou životnost. Výrobce toto může provádět samostatně, nebo též jako člen kolektivního systému [4].

3.1.3 Vyhláška č. 8/2021 Sb. o katalogu odpadů a posuzování jeho vlastností

Vyhláška 8/2021 Sb. zpřehledňuje katalog odpadů, dle kterého identifikujeme odpad a zařazujeme ho do jedné z 20 skupin dle jeho vlastností. Katalog odpadů definuje dvě kategorie odpadů - odpady ostatní a nebezpečné[5].

3.1.4 Vyhláška 16/2022 Sb. o podrobnostech nakládání s některými výrobky s ukončenou životností

Vyhláška vycházející z platných zákonů a nařízení Evropské unie zpřesňuje a implementuje zvláštní požadavky na sběr, skladování a nakládání s vybranými výrobky s ukončenou životností. Vyhláška se zaměřuje na odpadní elektrická a elektronická zařízení, odpadní baterie a akumulátory a taktéž na odpadní pneumatiky. Předměty úprav jsou například: [6]

- Vedení informačních kampaní
- Požadavky na sběr, skladování a přepravu OEEZ
- Stavebně technické provedení míst zpětného odběru OEEZ
- Evidence výrobců a formulář pro zápis do kolektivního systému
- Specifikace podání žádosti o provozování kolektivního systému
- Značení elektrozařízení pro potřeby recyklace
- Technické požadavky na zpracování OEEZ v souvislosti s technickými normami
- Podmínky importu a exportu OEEZ
- Obsahová forma výroční zprávy provozovatele kolektivního systému
- Dělení skupin a podskupin elektroodpadů pro účely recyklace

3.1.5 Směrnice evropského parlamentu a rady 2012/19/EU o odpadních elektrických a elektronických zařízeních

S takzvaným ozeleňováním nejen odpadového hospodářství v Evropské unii byla 4. července 2012 novelizována směrnice 2002/96/EU. Výsledkem je dnes platná směrnice 2012/19/EU a právně zastřešuje nakládání s elektroodpadem ve členských zemích EU. Oproti směrnici 2011/65/EU, která omezuje užívání některých nebezpečných látek v elektrozařízeních (RoHS), se tato směrnice zaměřuje zejména na zpětný odběr a jeho kvantifikaci. Před novelizací byl cíl dosažení sběru 4 kg elektroodpadu na osobu a rok, od 1.1.2019 je cílem sběr a recyklace 85% produkovaného na území členského státu, případně sběr a recyklace 65% hmotnosti veškerých OEEZ uvedeného na trh v členské zemi (platí i pro importovaná zařízení) [3].

3.1.6 Skupiny OEEZ dle platné legislativy

Přílohou zákona č. 542/2020 Sb., o výrobcích s ukončenou životností a taktéž vyhlášky č. 16/2022 Sb., o podrobnostech nakládání s některými výrobky s ukončenou životností je důležitá specifikace, podle které jsou jednotlivá elektrozařízení dělena do skupin. Před novelizací existovalo 10 skupin elektroodpadů, od 1.1. 2019 došlo k markantnímu zjednodušení a zůstalo zde 6 hlavních skupin, dle kterých se OEEZ třídí.

Zjednodušení se dosáhlo ve smyslu sloučení několika sporných skupin, například spotřebitelská zařízení a solární panely (dříve skupina 4), elektrické a elektronické nástroje (dříve skupina 6), hračky, vybavení pro volný čas a sporty (dříve skupina 7), lékařské přístroje a přístroje pro monitorování a kontrolu (dříve skupiny 8 a 9) a výdejní automaty (dříve skupina 10) [6].

Již z názvů skupin vyplývá určitá zmatečnost a zařazení jednotlivých spotřebičů do těchto skupin komplikovalo jejich univerzální využití. Například vyřazený domácí teploměr, zcela běžné zařízení s jednoduchou konstrukcí náležel hned čtyřem skupinám - jednalo se o spotřebitelské zařízení (skupina 4), taktéž to byl elektronický nástroj (skupina 6) a v neposlední řadě je to i lékařské (skupina 8) a monitorovací (skupina 9) zařízení. Dle dnešního rozdělení by se bezvýhradně jednalo o skupinu 5 - malá elektrozařízení.

Naproti tomu byly výdejní automaty, které se mezi sebou markantně liší konstrukcí dle prodávaného zboží a použitými technologiemi, brány za jeden druh OEEZ bez ohledu na tyto technologie. Dle starého dělení byl ve stejné kategorii automat na výdej chlazených nápojů a automat na prodej papírových jízdenek.

Na první pohled se prakticky neliší, oba prodávají zboží. Automat na prodej nápojů však obsahuje chladicí okruh s přenosovým médiem (nyní skupina 1 - zařízení pro tepelnou výměnu), naproti tomu automat na jízdenky je pouhý mechanický přístroj s řídicí elektronikou (skupina 4a - velká elektrozařízení vyjma solárních panelů). Metody recyklace a technologické požadavky na recyklační linky jsou v obou případech velmi rozdílné.

Samotné nové rozdělení je následující: [6]

1) Zařízení pro tepelnou výměnu

Do skupiny zastřešující zařízení pro tepelnou výměnu spadají veškerá topná a chladicí zařízení, která využívají jakékoli přenosové médium kromě vody. Do této skupiny taktéž spadají zařízení, která nejsou určena primárně pro chlazení či topení, nicméně jejich funkční součástí je chladicí/topný okruh - například specifické výdejní automaty. Do této skupiny

tedy spadají veškeré chladničky, ledničky, mrazáky, výrobníky ledu, klimatizace, tepelná čerpadla a olejová topení.

2) Obrazovky, monitory a zařízení obsahující obrazovky o ploše větší než 100 cm²

Kromě televizí a monitorů spadají do této skupiny veškerá zařízení, jejichž součástí je obrazovka o ploše větší než 100 cm², ačkoliv by svým předpokládaným využitím připomínaly spíše malá či telekomunikační zařízení - jedná se o například notebooky, terminály, tablety a čtečky knih.

3) Světelné zdroje

Bez ohledu na použitou technologii se do této kategorie zařazují veškeré elektrosoučástky a jejich konstrukční celky, které byly konstruovány za účelem emise světelných paprsků - žárovky, svítidla, zářivky, výbojky a LED diody.

4) Velká elektrozařízení

Tato skupina sdružuje zařízení, která nepatří do skupin 1 až 3 a zároveň jejich nejdelší strana přesahuje délku 50 cm. Velká elektrozařízení dělíme do dvou podskupin:

- **Podskupina 4a**

Podskupina 4a je jedna z nejrozmanitějších vůbec a řadíme do ni veškeré spotřebiče splňující předchozí charakteristiku a zároveň podmínku, že se nejedná o solární panely. Jedná se tedy o zařízení typu pračky, sušičky, myčky, boilers, elektrické nářadí, přehrávače, reproduktory, vysavače, rádia, tiskárny, kopírky, kotle, sporáky, trouby a ostatní zařízení s délkou hrany větší než 50 cm.

- **Podskupina 4b**

Tato podskupina je naopak vyhrazena pro jeden velmi specifický, ačkoliv poměrně rozsáhlý typ elektrozařízení - solární panely. Jedná se zejména o vodivě spojené křemíkové články vložené do ochranného obalu z plastu nebo skla. Nosné a výztužné prvky panelů jsou konstruovány z hliníku a oceli. Již z tohoto popisu je patrné, že se jedná o velice charakteristický druh OEEZ a jeho kategorizace v rámci recyklace je jistě na místě. U solárních panelů neplatí omezení, že jejich nejdelší strana má mít více než 50 cm.

5) Malá elektrozařízení

Zařízení v této skupině nesplňují kritéria pro zařazení do skupin 1 až 3, jejich nejdelší strana má méně než 50 cm a nemají povahu informačních a telekomunikačních zařízení. Do této skupiny je možné zařadit většinu osobní a nositelné elektroniky zahrnující malé reproduktory, elektrické zubní kartáčky, sluchátka, počítačové příslušenství jako jsou myši a klávesnice, mikrovlnné trouby, žehličky, fotoaparáty, hračky, detektory oxidu uhelnatého a kouře, toustovače, holicí strojky, kabely a další.

6) Malá zařízení informačních technologií a telekomunikační zařízení

Poslední skupinou lze charakterizovat veškerá zařízení pro informační a telekomunikační účely. I v této kategorii platí omezení, že se nesmí jednat o výrobky, jejichž nejdelší délka strany přesahuje 50 cm. Do této skupiny patří počítače, GPS navigace, mobilní telefony, přijímače, modemy, routery, antény, switche, servery a jejich komponenty a další podobné výrobky.

7) Výjimky stanovené zákonem č. 542/2020 Sb.

- Vojenský materiál, střelivo a materiál, který je určen výlučně pro využití bezpečnostními sbory
- Velká stacionární průmyslová soustrojí
- Výzkumná elektrozařízení, která nejsou spotřebitelům běžně dostupná
- Elektronické součásti trhavin
- Vozidla ozbrojených sil
- Stroje pro profesionální použití, které nejsou určeny pro běžný provoz
- Elektrozařízení určená pro vyslání do vesmíru
- Zdravotnické přístroje, které mohou být zdrojem nákazy [4]

3.2 Recyklace elektroodpadu nejen v České republice

Jak již bylo zmíněno v kapitole číslo 1., vzhledem k dynamickému nárůstu množství OEEZ a současného uvědomování si environmentálních dopadů této „elektronické expanze“ je více než nutné přijmout vhodné postupy a řešení recyklačních metod. Samotný elektronický odpad je jeden z nejvíce nehomogenních druhů odpadů, obsahuje širokou škálu vzácných, ušlechtilých a snadno recyklovatelných materiálů, ale také četné množství materiálů problematicky recyklovatelných.

3.2.1 Počátky sběru elektroodpadu v České republice

Průlomovým se stal rok 2005, od této doby mohli začít občané České republiky vidat na sběrných hnízdech tříděného komunálního odpadu nový přírůstek - sběrné nádoby na elektroodpad. Tímto krokem započal nový systém sběru a nakládání s elektroodpadem. Je pravdou, že velká elektrozařízení, zejména tedy tzv. „bílá“ elektronika (velké domácí spotřebiče povětšinou bílé barvy - pračky, lednice, sporáky, atp.) bylo možné odevzdávat ve sběrných dvorech, nicméně malá elektrozařízení byla likvidována spolu s komunálním odpadem [7] [8].

S postupem času se začaly sběrné nádoby na drobný elektroodpad rozšiřovat, existovaly i snahy o zavedení door2door systému sběru drobného elektroodpadu v pytlích. Systém byl zaveden například ve městě Nový Bor již v roce 2013, kde se po úspěšném zavedení tohoto systému ve sběru plastového a papírového odpadu vyvinula myšlenka domovního svozu elektroodpadu umístěného v červeném pytli o objemu 35 dm³ s frekvencí svozu jedenkrát za měsíc a garantovanou motivační odměnou. Motivační odměna spočívala ve slevě za platby za komunální odpad, přičemž 1 kilogram elektroodpadu byl vyvážen slevou 1,50 CZK/kg [9] [10].

Z ekonomických důvodů bylo od této metody sběru poměrně rychle upuštěno. Zdaleka se však nejednalo o to, že by město muselo sběr do velké míry dotovat. Svoz papírového a plastového odpadu zde trvá dodnes a motivační odměny zde byly platné až do konce roku 2023 (0,40 CZK za kg papíru a 1,50 CZK za kilogram plastu). Důvody k ukončení domovního svozu elektroodpadu byly hlavně dva:

- 1) Vzhledem k povaze (ostré hrany, minimální možnost stlačení) a vysoké měrné hustotě elektroodpadu často docházelo k tomu, že se pytle trhaly již při nakládce na svozové vozidlo. Docházelo k nepřesnostem vážení a nákladech s vícepracemi při úklidu.
- 2) Mezi lety 2013 a 2017 došlo k velkému nárůstu množství sběrných nádob a jejich dostupnosti nejen na sběrných hnízdech komunálního odpadu, nýbrž i v prodejnách s elektronikou. Lidé si zvykli nosit vysloužilá elektrozařízení na tato sběrná místa a zájem o door2door systém sběru elektroodpadu se dramaticky snížil [10].

3.2.2 Sběrné nádoby na elektroodpad

1) *Velkoobjemové kryté kontejnery - tzv. WINTEJNERY*

S touto sběrnou nádobou se setkáváme zejména na sběrných dvorech, případně na překladištích odpadů - jedná se o zastřešené velkoobjemové kontejnery ocelové konstrukce s většinou typickou zelenožlutou barvou a logem společnosti ELEKTROWIN, a.s.

Na sběrná stanoviště se dodávají zejména vždy ve dvojicích - první kontejner je určen pro uskladnění a přepravu zařízení určených pro chlazení, tj. lednic, mrazáků, vinoték, chladicích kompresorů, zmrzlinovačů, výrobníků ledu a klimatizačních jednotek. Tento kontejner má označení Wintejner CH a disponuje těmito parametry:

- Tuhá nosná konstrukce ze svařovaných ocelových profilů
- Opláštění boků 3 mm
- Opláštění podlahy ocelovým plechem tloušťky 5 mm
- Výška zdvihacího závěsu 1000 - 1200 mm
- Objem 43 m³
- Rozměry 6800 x 2550 x 2500 mm
- Nosnost 20t
- Hmotnost prázdného kontejneru 2,9 t

Druhou ze dvojice tvoří kontejner určený pro tzv. malé a velké spotřebiče, které lze charakterizovat zaběhlým označením tzv. „bílé elektro“ - pračky, sušičky, myčky, boilers, mikrovlnné trouby, sporáky, konvektomaty, průtokové ohříváče a další technika vyjma spotřebičů s chladicím okruhem. Tento typ nese označení Wintejner VMS a jeho parametry jsou:

- Tuhá nosná konstrukce ze svařovaných ocelových profilů
- Plechové zastřešení
- Opláštění boků a střechy ocelovým plechem tloušťky 3 mm
- Opláštění podlahy ocelovým plechem tloušťky 5 mm
- Výška zdvihacího závěsu 1000 - 1200 mm
- Objem 38 m³
- Rozměry 6800 x 2550 x 2200 mm
- Nosnost 20t
- Hmotnost prázdného kontejneru 3,15 t

Tyto velkoobjemové kontejnery jsou konstruovány k ochraně elektroodpadu před povětrnostními vlivy a slouží k bezpečné přepravě materiálu až na místo jeho zpracování. Kontejnery jsou určeny sběrným stanovištím, která dosahují odbytu alespoň 16t/rok [11].

Obrázek 1 Wintejner



Zdroj: 1 <https://www.elektrowin.cz/sberne-prostredky.html>

2) Drátěné klece pro sběr malých elektrospotřebičů, tzv. MINIWINY

Pro potřeby sběru malých vyřazených elektrozařízení se též využívají drátěné skladovací a transportní kontejnery, tzv. Miniwiny. Jsou vhodné pro shromažďování spotřebičů do velikosti 800 x 500 x 490 mm a jsou uzpůsobeny pro pohodlné nakládání a vykládání materiálu. Tyto sběrné nádoby jsou užívány pro sběr kabelů, počítačů, notebooků, přehrávačů, varných konvic, reproduktorů, klávesnic, počítačových myší, kontaktních grilů a veškerého dalšího drobného elektrozařízení. Technické parametry těchto nádob jsou:

- Ocelový rám s drátěným opláštěním
- Rozměry 2000 x 1200 x 1000 mm
- Objem 2,4 m³
- Opatřen kolečky s mechanickou brzdou
- Opatřen výklopnou stěnou pro snazší manipulaci a zvýšení užitého objemu
- Svoz probíhá formou výměny plného za prázdný (kus za kus)

Obrázek 2 Miniwin



Zdroj: [2https://www.elektrowin.cz/sberne-prostredky.html](https://www.elektrowin.cz/sberne-prostredky.html)

3) *Stacionární ocelové nádoby s výsypným zdvihovým mechanismem*

Nezaměnitelné, svítivě červené ocelové nádoby ve tvaru kvádrů. Zdobí kolorit téměř 4 000 sběrných hnízd v České republice. O obsah těchto nádob se dělí zejména společnosti ELEKTROWIN, a.s. a ASEKOL, a.s.

Tyto sběrné nádoby jsou určeny pro drobná elektrozařízení z domácností a většinou disponují i bočním vhozem určeným pro vysloužilé akumulátory.

Obrázek 3 Sběrná nádoba ASEKOL



Zdroj: [3https://www.cervenekontejnery.cz/](https://www.cervenekontejnery.cz/)

Technické parametry těchto směrých nádob jsou uzpůsobeny nejnovějším požadavkům [12]:

- Ocelový nosný rám se zvýšenou pevností
- Tupé hrany pro minimalizaci škod na zdraví a majetku
- Vhozový otvor o rozměru 50 x 40 cm se sníženou možností vniknutí
- Vhozový otvor pro sběr akumulátorů 65 x 35 mm
- Objem 2,15 m³
- Výška: 1 800 mm
- Šířka: 1 300 mm
- Hloubka: 1 200 mm

- Výsypný mechanismus - zdvihový

4) E-Boxy

E-boxy jsou určeny ke sběru drobného elektroodpadu, jako jsou například akumulátory, elektronické cigarety či mobilní telefony. Vhodné jsou pro obchodní stanoviště a firmy. Svoz a zápůjčku provádí společnost ASEKOL, a.s.

- Nosnost 25 kg
- Rozměry 40 x 25 x 25 cm

Obrázek 4: E-box ASEKOL



Zdroj: 4 <https://www.asekol.cz/kartonove-krabice/>

5) Nádoby pro světelné zdroje [13]

Světelné zdroje jsou třetí skupinou dle nového třídění OEEZ. Dle nové metodiky třídění vyřazených elektrozařízení již nehrají roli konstrukční řešení metody vyzařování světelných paprsků, nýbrž pouze jejich největší délkový rozměr. Jednat se tedy může o běžná svítidla fungujícím na principu LED osvětlení, ale i zářivková či výbojková svítidla [14].

Tyto sběrné nádoby mohou být konstruovány ve formách:

a) Kartonových krabic na lineární zářivky a výbojkové trubice

- Vhodné pro interiérové použití
- S bočním plněním
- Rozměry 155 x 25 x 25 cm
- Objem 90 dm³

b) Kartonových krabic na kompaktní svítidla

- Vhodné do interiérů budov
- S bočním plněním
- Rozměry 65 x 45 x 35 cm
- Objem 90 dm³

c) Ocelových kontejnerů na kompaktní svítidla

- Vhodné i do exteriéru - odolné povětrnostním vlivům
- Objem 700 dm³
- S bočním i vrchním plněním
- Podmínka zápůjčky je zaplnění nádoby 4 x za 12 měsíců
- Odolná konstrukce z oceli, práškově lakováno

d) Ocelových kontejnerů na lineární zářivky a výbojky

- Vhodné i do exteriéru - odolné povětrnostním vlivům
- Objem 640 dm³
- Primárně horní plnění, vyjímání trubic probíhá z boku
- Podmínka zápůjčky je zaplnění nádoby 4 x za 12 měsíců

- Odolná konstrukce z oceli, práškově lakováno
- Podmínkou je odkládání pouze nepoškozených trubice
- Vhodné pro administrativní budovy

Obrázek 5: Nádoba na trubice



Zdroj: 5 <https://www.asekol.cz/nadoby-pro-svetelne-zdroje/>

3.2.3 Kolektivní systémy sběru elektroodpadu v České republice

Přenesení odpovědnosti za na trh uváděné výrobky na výrobce (případně dovozce či distributora dle zákona č. 542/2020 Sb.) se zasloužilo o vznik organizací, které sdružují výrobce vybraných zařízení a podílí se na převedení této zákonné povinnosti do praxe.

Ze zákona č. 542/2020 Sb. (viz kapitola 3.1.2) vyplývá, že výrobce či distributor je odpovědný za celou životní cestu výrobku - včetně vyřazení a materiálového využití. Z ekonomického hlediska je pro výrobce tedy výhodné, pokud se přihlásí do kolektivního sběru, který za něj za poplatek obstará převzetí a recyklaci vysloužilého spotřebiče. Tím pádem dojde k naplnění zákonných požadavků a taktéž k záruce ekologické likvidace daného spotřebiče [4].

Vzhledem k poměrně stálému a prověřenému dodavatelskému řetězci se nestává, že by na sběrných stanovištích končilo velké množství vyřazených a zároveň nevidovaných elektrospotřebičů. S rostoucím importem elektrozařízení zejména z východních zemích se však můžeme častěji setkávat s takzvanými „free riders“, což jsou výrobci dodávající na trh nová elektrozařízení bez zaplacení recyklačního poplatku.

V České republice funguje celkem 13 společností zapsaných do kolektivního sběru OEEZ (k 01.08.2023). 7 z těchto společností jsou výhradně specializované na sběr fotovoltaických panelů uvedených na trh do 1.1.2013. Zapsány jsou dle zákona 185/2001 Sb., o odpadech a jejich evidenci vede Ministerstvo životního prostředí. (viz tabulka 1)

Vyřazené fotovoltaické panely se řadí do skupiny velkých elektrozařízení, tedy do čtvrté skupiny. Vzhledem k proběhlému slučování skupin elektroodpadů dle zákona 542/2020 Sb. a vyhláškou 16/2022 Sb., masivním nárůstem jejich instalací a specifickým materiálovým složením lišícím se od běžných velkých elektrozařízení vznikla nová podskupina čtvrté kategorie specializovaná pouze pro vyřazené fotovoltaické panely. Tato skupina nese název 4b - Solární panely.

Tabulka 1 Provozovatelé KS 1.

Provozovatel KS	Skupiny OEEZ	Upřesnění podskupiny 4b
ASEKOL Solar s.r.o.	4b	Pouze solární panely uvedené na trh do 1.1.2013
ECOPARTNER s.r.o.	4b	Pouze solární panely uvedené na trh do 1.1.2013
FitCraft s.r.o.	4b	Pouze solární panely uvedené na trh do 1.1.2013
MINTES s.r.o.	4b	Pouze solární panely uvedené na trh do 1.1.2013
PV Recovery s.r.o.	4b	Pouze solární panely uvedené na trh do 1.1.2013
Recycling Systems s.r.o.	4b	Pouze solární panely uvedené na trh do 1.1.2013
REsolar s.r.o.	4b	Pouze solární panely uvedené na trh do 1.1.2013

Zdroj: https://www.mzp.cz/cz/kolektivni_systemy_oeez

Zbýlých 6 společností se specializuje na kolektivní sběr většího sortimentu OEEZ (vyjma společnosti ČEZ Recyklace s.r.o., která se zaměřuje na recyklaci veškerých solárních panelů bez limitace datem uvedení na trh) a je evidována u Ministerstva životního prostředí dle zákona č. 542/2020 Sb. o výrobcích s ukončenou životností - viz tabulka 2.

Tabulka 2 Provozovatelé KS 2.

Provozovatel KS	Skupiny OEEZ	Upřesnění podskupiny 4b
ČEZ Recyklace s.r.o.	4b	Včetně solárních panelů uvedených na trh do 1.1.2013
ASEKOL a.s.	1, 2, 3, 4a, 4b, 5, 6	Mimo solárních panelů uvedených na trh do 1.1.2013
EKOLAMP s.r.o.	3, 4a, 4b, 5, 6	Mimo solárních panelů uvedených na trh do 1.1.2013
ELEKTROWIN a.s.	1, 2, 3, 4a, 4b, 5, 6	Včetně solárních panelů uvedených na trh do 1.1.2013
REMA Systém a.s.	1, 2, 3, 4a, 4b, 5, 6	Mimo solárních panelů uvedených na trh do 1.1.2013
RETELA s.r.o.	1, 2, 3, 4a, 4b, 5, 6	Mimo solárních panelů uvedených na trh do 1.1.2013

Zdroj: 7 www.mzp.cz/cz/kolektivni_systemy_oeez

3.2.4 Statistika sběru elektroodpadu v České republice

Za počátek „doby elektronické“ lze, alespoň pro Českou republiku, považovat počátek milénia. Díky osvětě a vzdělávání se Čeští občané začali zabývat recyklací elektroodpadu ve větším množství v rozmezí let 2005 až 2007, kdy započala dosluhovat elektronika z první vlny prodejů z počátku tisíciletí a zároveň rozmach prodejů nových typů elektroniky.

Z jiného zdroje informací vyplývá, že Češi například v roce 2011 odevzdali 55 tisíc tun, což bylo tehdejších 30 % všech na trh uvedených elektrických a elektronických zařízení, v roce 2021 už se jednalo o 133 tisíc tun OEEZ. To již činilo úctyhodných 58 % všech elektrozařízení uvedených na trh [15].

Za rok 2023 jen samotná společnost ASEKOL a.s., jeden ze 13 členů kolektivního systému sběru OEEZ (viz tabulka 1 a 2), sesbíral rekordních 61,8 tisíc tun vysloužilých spotřebičů. Tímto číslem překročil kvótu sběru minimálně 65 % elektrozařízení uvedených na trh členskou zemí za uplynulý rok (viz kapitola 3.1.5) [16]. V číslech to vypadalo takto:

Skupina 1 - zařízení pro tepelnou výměnu - 68,8 %

Skupina 2 - Obrazovky a monitory se zobrazovací plochou větší než 100 cm² - 72,7 %

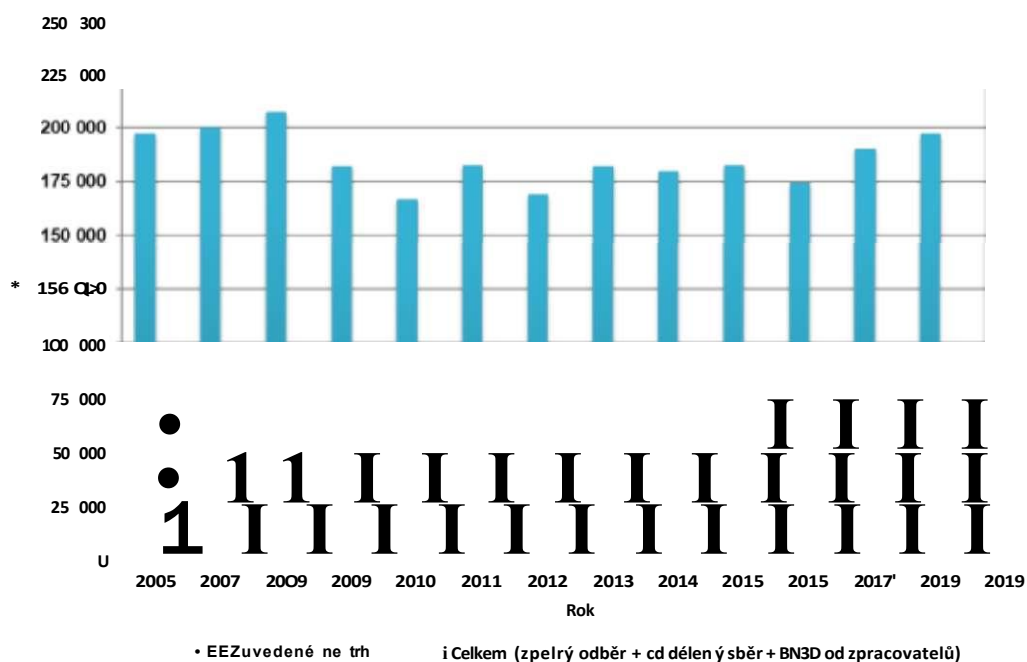
Skupina 3 - Světelné zdroje - 68,0 %

Dle pana Davida chytla, člena představenstva společnosti REMA Systém s.r.o. (viz tabulka 2) již Čeští občané vědí, jak nakládat s vysloužilou elektronikou. Dle jeho slov tomu velmi pomohla informovanost občanů, jejich zájem o životní prostředí a také osvěta prodejců a samotných obcí a kolektivních systémů.

„Problém však vnímáme u drobnějších elektrozařízení, například u hraček nebo malých domácích spotřebičů, které vlezou do klasické popelnice na směsný odpad. Drobných elektrických pomocníků přibývá a mnozí si bohužel neuvědomují, že i malá mluvící hračka by si zasloužila recyklaci. Pro další skupinu lidí, je pak bohužel pohodlné netřídit. Třeba proto, že mají sběrné místo dál než barevné kontejnery,“ [15].

Vzhledem k rostoucímu trendu odevzdaných elektrozařízení k recyklaci to však vypadá, že Čeští občané berou třídění elektroodpadu vážně. Na následujícím grafu lze názorně vyčíst růstovou tendenci zpětného odběru odpadních elektrozařízení [17].

Graf 1 Sběr OEEZ v CR [t]



Zdroj: 8 <https://euractiv.cz/section/obehove-hospodarstvi/linksdossier/odpad-je-surovinou-budoucnosti-potencial-maji-i-stara-elektrozarizeni-jak-s-nimi-evropa-naklada/>

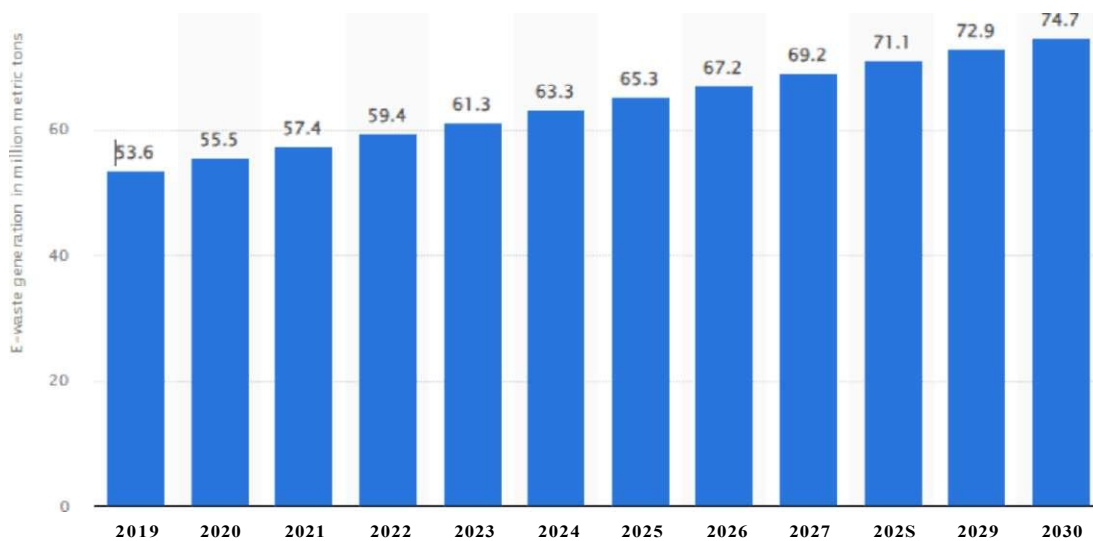
3.2.5 Statistika sběru elektroodpadu ve světě

Elektronický odpad je nejdynamičtěji rostoucí druh odpadu v celosvětovém měřítku. S rostoucím trendem životní úrovně nejen v Evropské unii a Severní Americe, ale zejména v afrických a asijských zemích a se meziroční nárůst elektroodpadu pohybuje řádově okolo 3,5 % ročně. V roce 2019 bylo vyprodukováno 53,6 milionů tun elektronického odpadu (přičemž bylo recyklováno pouze 17,4 % z tohoto objemu), v roce 2023 to již bylo 61,3 milionů tun. V roce 2030 je predikované množství elektroodpadu 74,7 milionů tun [18].

Ze statistických propočtů vychází, že průměrně bylo v roce 2019 vyprodukováno 7 kg elektroodpadu na každého obyvatele zeměkoule. Pro jednotlivé kontinenty se však tato čísla liší - na průměrného občana Evropany to vycházelo přes 16 kg ročně, na občana Asie 5 kg ročně a na Afrického občana 2,5 kg za rok. V grafu níže je zobrazen celosvětový vývoj objemu elektroodpadu včetně predikce až do roku 2030 [18] [19].

Graf2 Sběr OEEZ ve světě [Mt]

1 co



Zdroj: 9 <https://www.statista.com/statistics/1067081/generation-electronic-waste-globally-forecast/>

4 Materiálová charakteristika OEEZ

4.1 Identifikace OEEZ

Jako elektrické a elektronické zařízení lze charakterizovat ty výrobky, jejichž princip funkce je závislá na elektrickém proudu, případně elektromagnetickém poli včetně zařízení určeným k výrobě, distribuci a měření elektrického proudu a elektromagnetického pole. Limitujícím faktorem je napětí nepřesahující 1 000 V pro střídavý a 1 500 V pro stejnosměrný proud [3].

Odpadním elektrickým a elektronickým zařízením se výrobek stává po ukončení své životnosti, ať již z důvodu nefunkčnosti a nemožnosti opravy z technického či ekonomického hlediska, tak již prostou obměnou z důvodu technologické zastalosti výrobku. Z kapitoly 3.1.6, kde jsou definovány konkrétní druhy elektrozařízení, lze vyvodit závěr, ze kterého vyplývá, že se jedná o konstrukčně a materiálově velmi složitá zařízení a každý jednotlivý spotřebič nebo skupina spotřebičů má svou specifickou materiálovou charakteristiku a dle té musí být navržena vhodná metoda recyklace.

Pro pochopení problematiky materiálové struktury a následné vhodné zvolení recyklačních a separačních metod a technologií jsou v následující kapitole popsány nejčastěji využívané materiály v elektrozařízeních a jejich vlastnosti.

4.2 Kovové materiály

4.2.1 Železo a jeho slitiny

Železu a jeho slitinám lze přisoudit prvenství jakožto nejpoužívanějšího kov využívaného v průmyslu. Možnostmi metalurgických úprav těchto slitin lze dosáhnout široké škály materiálů s velmi podobným chemickým složením, avšak velice rozdílnými vlastnostmi vhodnými pro aplikaci v jednotlivých částech průmyslu. Chemicky čisté železo se pro průmyslové aplikace nevyužívá z důvodů nevyhovujících fyzikálně-chemických parametrů, nicméně po vytvoření slitiny s uhlíkem, jehož atomy jsou řádově menší než atomy železa a snadněji difundují do krystalické mřížky tělesa a mění její vlastnosti, vznikají primárně dvě skupiny slitin: ocel a litina. Přidáváním dalších prvků, tzv. legováním, vznikají oceli se specifickými vlastnostmi. Pro elektrotechnické účely se jedná zejména o běžné konstrukční oceli tříd 10 a 11 pro nosné konstrukce elektrozařízení. Druhou nejrozšířenější skupinou ocelí jsou oceli pružinové - legujícím prvek je křemík a jedná se o 13. třídu oceli dle ČSN 42 0002:1976. Tento druh oceli je užíván jako konstrukční prvek statorů i rotorů elektromotorů a těl transformátorů. Nevýhodou slitin železa je náchylnost ke korozi, již

přispívá nedostatečná či porušená povrchová úprava v kombinaci se vzdušnou vlhkostí a pro elektrotechnické účely špatná vodivost elektrického proudu (železo je sice vodivým materiálem, avšak nedosahuje takových parametrů vodivosti, jako jiné neželezné kovy). [20]

4.2.2 Měď a její slitiny

Měď je neželezný kov s výbornou elektrickou a tepelnou vodivostí, proto se s ní lze setkat v naprosté většině elektronických zařízení. Použití měděných vodičů zajišťuje minimální energetické ztráty a vzhledem k minimalizaci rozměrů dnešních elektronických zařízení a systémů je tento materiál vhodný jako základní vodivá vrstva desek plošných spojů a propojovacích vodičů. Nespornou výhodou mědi je též její ohebnost a flexibilita, které využíváme zejména při konstrukcích vodičů - vodiče mohou být plné, tzv. „drát“, nebo splétané z tenkých měděných vláken, tzv. „licna“. Většina dnes produkovaných silových i komunikačních vodičů je vyrobena z mědi a ačkoliv je jejich použití vyváženo vyšší investicí do pořízení, návratnost lze velmi rychle vypočítat v energetických úsporách. Charakteristickou vlastností mědi je též odolnost vůči korozi a oxidaci bez jakékoliv povrchové úpravy [21].

Vyjma vodičů je měď využívána jako elektrovodná vrstva desek plošných spojů. Požadavky na konstrukci plošných spojů prakticky vyřazují možnost použití hliníku jako náhradu této elektrovodné vrstvy, zároveň je pro velkosériovou výrobu běžné elektroniky ekonomicky nepřijatelné užití vzácných kovů, například stříbra, pouze pro účely konstrukce vodivých ploch a můstků na (v) deskách plošných spojů [22].

4.2.3 Hliník a jeho slitiny

Jedná se o třetí nejzastoupenější prvek v zemské kůře a svými fyzikálními vlastnostmi vybočuje z charakteristiky ostatních neželezných kovů. Nepodléhá korozi a vzhledem k jeho poměrně vysoké pevnosti (zejména ve slitinách), nízké objemové hmotnosti pouhých 2 700 kg.m⁻³, dobré elektrické a tepelné vodivosti v kombinaci s nízkou cenou je jeho využití v elektrotechnice široké. Využíván je od lehkých nosných konstrukcí a oplášťování, přes stínící obaly a kryty určené jako ochrana před elektromagnetickým polem, až po komponenty určené k tepelné výměně, jako například chladiče výkonových součástí.

V současné době je jeho použití pro elektrotechnické aplikace na ústupu. Z důvodu omezené flexibility, křehnutí vodičů v místech spojů a vyššího měrného elektrického odporu oproti mědi (hliník 0,0285 ro.mm².m⁻¹ a měď 0,0178 ro.mm².m⁻¹) není vhodné jeho využití jako vodivého materiálu silových vodičů pro domovní instalace. Naopak běžné využití

hliníkových kabelů je u pevných instalací s větším průřezem, například soustav vedoucích od trafostanic k HDS (hlavních domovních skříní) či průmyslových přípojek. Musíme však počítat s tím, že je nutné využít o řád či dva větší průřez oproti vodičům měděným [21] [22].

4.2.4 Cín a olovo

Cín a olovo jsou pro použití v elektrotechnice klíčové materiály díky svým dvěma vlastnostem - vysokou měrnou hustotou a nízkou teplotou tání. Cín je využíván nejčastěji jako nosný prvek spojovacího materiálu - pájky. Ta slouží k montáži jednotlivých komponent k desce plošných spojů, případně k vodičům. S cínem se v elektrotechnice můžeme setkat jako součástí měděného bronzu, případně jako součástí speciálních povlaků.

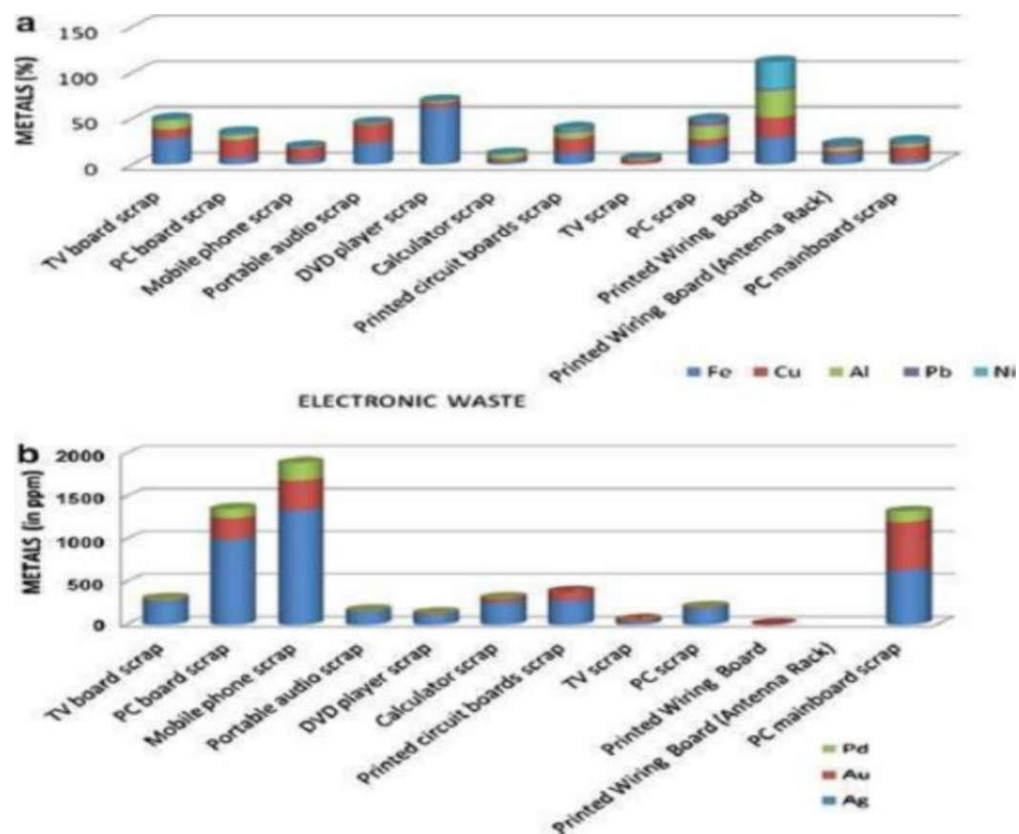
S olovem a jeho sloučeninami se v elektrotechnice setkáváme zejména jako součástí elektrod olověných akumulátorů. Díky jeho tvárnosti, vysoké energetické hustotě a schopnosti ideálně reagovat s elektrolytem (kyselina sírová) je použití olova ideální [23]. Použití olova jako součástí elektrotechnických pájek je od 1. března 2018 zakázané směrnicí Evropské unie [24], nicméně z hlediska recyklace zařízení, která byla vyrobena před tímto datem je však s obsahem olova v pájkách počítat.

4.2.5 Drahé kovy

Drahé kovy jsou díky své odolnosti proti korozi i oxidaci a vynikající elektrické vodivosti hojně používány zejména jako vodivé a přechodové můstky v polovodičových čípech. Dále se s nimi lze setkat jako s povrchovou úpravou kontaktů, sběrnic a konektorů v rozebíratelných spojích a součástí kondenzátorů a fotodiod. Nejvyšší koncentraci drahých kovů ze všech komponent OEEZ nalezneme na deskách plošných spojů. Hmotnostní procentní podíl stříbra na deskách plošných spojů je 0,156 %; u zlata je to 0,039 % a u palladia 0,009 %. Dle těchto informací lze usoudit, že recyklace a extrakce drahých kovů z elektronického odpadu je velmi významná a jejich výskyt v deskách plošných spojů řádově převyšuje jejich množství v přírodních rudách [25] [26].

Na obrázku níže je rozbor vybraných komponent a typů elektronických zařízení a hmotnostní podíl využitých kovů. V horní části je graficky zobrazen podíl železných a neželezných kovů, na vedlejší ose grafu je jejich obsah uveden v procentech. Ve spodní části je graficky vyobrazeno množství drahých kovů obsažených ve stejných vzorcích. Jednotkou na vedlejší ose je ppm (parts per million/částic na milion) [27].

Obrázek 6 Hmotnostní podíl kovů ve vybraných komponentech OEEZ



Zdroj: 10 Extraction of metals in electronic waste - [27]

4.2.6 Ostatní kovy

V elektronických obvodech a součástech se používá i velká škála ostatních kovů, byť jen v nepatrném (stopovém) množství. S přihlédnutím na fakty, například jaká množství elektronického odpadu celosvětově vznikají (viz kapitola 3.2.5) nebo to, že se povětšinou jedná o materiály s vysokou tržní hodnotou a mnohdy i se silně toxickými vlastnostmi pro životní prostředí, je nutnost provádět opatření k úspěšné recyklaci i těchto kovů. Nebezpečné materiály jsou podrobněji popsány v kapitole 4.2.10

Typickými představiteli těchto materiálů jsou rtuť, chrom, arsen, zinek, kadmium, nikl, selen a lithium. Celosvětová spotřeba lithia však dynamicky roste, zejména s rostoucím trendem e-mobility a rozvoje obnovitelných zdrojů energie (OZE), a do budoucna bude lithium představovat velkou výzvu pro recyklační proces. [28]

4.3 Nekovové materiály

4.3.1 Plasty

Plasty tvoří přibližně třetinu hmotnostního podílu elektronických zařízení v závislosti na jejím typu a plní zejména krycí, izolační, nosnou a estetickou funkci jednotlivých komponent a celků elektrozařízení. Vzhledem k nízké měrné hmotnosti plastů se jedná o velké množství problematicky recyklovatelného odpadu. Problematika recyklace těchto plastů vzniká zejména kvůli kombinacím několika druhů rozdílných plastů použitých při konstrukcích složitých součástí a také kvůli přidávaným aditivům, jako jsou změkčovadla, zpomalovače hoření a přísady určené pro barevnou stálost. Mechanické metody recyklace nejsou schopny vyloučit tyto aditivační látky a z tohoto důvodu je prakticky vyloučené navrácení těchto materiálů zpět do oběhu. Tvoří tak velké množství nevyužitelných zbytků (výmětů) při v recyklačních procesech zpracování OEEZ. V elektronických zařízeních se setkáme nejčastěji s těmito druhy použitých plastů:

- **PVC**

PVC (polyvinylchlorid) se řadí do skupiny termoplastů a vyniká svou houževnatostí, pružností, chemickou i tepelnou stálostí a možností aditivace. V elektrotechnice je využíván zejména jako izolační materiál vodičů a kabelů. Běžně bývá aditivován změkčovadly a zpomalovači hoření, což činí jeho recyklaci značně problematickou. Jednodruhové PVC (například granulát z recyklace odpadních kabelů) je možné recyklovat například tlakově-tepelným tvarováním do monobloků, nicméně směsné PVC je velmi obtížně využitelné. 57 % jeho molekulární hmotnosti tvoří samotný chlor, 43 % je ethen a aditiva [29].

- **ABS**

ABS (akrylonitril-butadien-styren) je technický termoplast s vysokou pevností a odolností proti otěru. Mezi jeho specifické výhody patří nízká teplotní a elektrická vodivost, vysoký útlum vibrací a možnost snadného pokovení a aditivace. Oproti ostatním plastům má tvrdý a poměrně křehký povrch. [30] Již z těchto zmíněných vlastností lze dovodit problematiku recyklace tohoto druhu plastu, zejména z důvodů aplikace samozhášivých aditiv a častého pokovování, které lze spatřit na většině domácích spotřebičů. Recyklace těchto materiálů je tedy především oborem chemické recyklace plastů [31].

- **PC**

Polykarbonát je využíván zejména jako náhrada skla, díky své nízké hmotnosti, obtížné rozbitelnosti a netříštivosti. Má vysokou propustnost světla, je odolný vůči UV záření a teplotně stálý. Čirý polykarbonát je v elektrotechnice využíván především jako náhrada skla,

v kombinaci s ABS. Polykarbonát zvyšuje tepelnou stabilitu ABS a naopak se stává lépe mechanicky zpracovatelným. Bylo zjištěno, že přidáním 10-20 hmotnostních procent recyklovaného polykarbonátu do ABS vzniká směsný plast s nezměněnými pevnostními vlastnosti oproti užití nerecyklovaného PC a zároveň dochází ke snížení ekologické stopy tohoto materiálu [32].

- **HIPS**

HIPS je zkratka pro vysokopevnostní polystyren (high impact polystyrene). Jedná se o termoplastický extrudovaný polymer a v elektrotechnice se využívá zejména jako elektrický, hlukový a vibrační izolant v místech, kde není vhodné užití běžného pěnového polystyrenu z důvodu jeho nízké odolnosti vůči rázům a deformacím. Extrudované vysokopevnostní polystyreny jsou 100 % recyklovatelné, v průběhu procesu demontáže OEEZ je však nutné dbát na jejich čistotu při předání k jejich následnému zpracování [33].

4.3.2 Polovodičové prvky

Mezi nejpoužívanější polovodičové prvky patří uhlík a germanium. Zastávají nenahraditelnou součást většiny elektrozařízení - jedná se totiž o materiály, jejichž vodivost je závislá na vnějších nebo vnitřních podmínkách. Změnou těchto podmínek je možné regulovat jejich vodivost. Na tomto základě stojí celá moderní elektronika. Polovodičové součástky jsou například diody, tranzistory, čipy, tyristory a dalších ovládací, spínací a regulační prvky [22].

4.4 Ostatní a nebezpečné materiály

4.4.1 Ostatní materiály

Množství ostatních materiálů, jako jsou například sklo, textil, dřevo, papír, keramika a ostatní nezpracovatelné části se velice liší dle stáří elektrozařízení. V moderních zařízeních se množství nevyužitelných materiálů významně snižuje, naproti tomu u starších zařízení bylo běžné konstruovat části nosných systémů a opláštění ze dřeva a textilních materiálů [34].

4.4.2 Toxické a jinak nebezpečné materiály

Elektronický odpad obsahuje mimo využitelné složky také řadu součástí, které vykazují nebezpečné vlastnosti. Tyto součásti je nutné separovat a nakládat s nimi jako s nebezpečným odpadem. Riziko představují zejména těžké kovy, jako je olovo, cín, rtuť, kadmium a beryllium. Dále se lze setkat s toxickými polokovy typu arsen a antimon, deriváty chlorfluorovodíků (CFC), hydrochlorfluorovodíků (HCFC) a fluorovanými

uhlovodíky (HFC) využívanými jako teplotně izolující média a nadouvací PUR pěny, luminolů používaných v obrazovkách tekutých displejů a v neposlední řadě s polychlorovanými bifenylly, bromovanými retardéry (zpomalovači) hoření a azbestovými částmi konstrukce [35].

Nebezpečnost těchto materiálů pro člověka spočívá zejména v jejich schopnosti se vázat na bílkoviny či nukleové kyseliny a při jejich zvýšené koncentraci dochází k systematickému poškození těchto buněk.

Tabulka číslo 3 interpretuje seznam vybraných komponent s nebezpečnými vlastnostmi a jejich popisem: [36]

Tabulka 3 Nebezpečné vlastnosti komponent OEEZ

	Materiální 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, seniorech, relé a vypínačích (desky plošných spojů, měřicí zařízení a výbojky). Nachází se ve zdravotnických zařízeních a v počítačích a při přenosu dat.
4.	Radioaktivní odpad	Radioaktivní odpad
5.	Gasové náplně	Potřeba vyjmout Z všech EEZ
6.	Desky plošných spojů	Kadmium se vyskytuje v určitých součástkách (cipové rezistory SMD, infračervené detektory a polovodiče)
7.	Polychlorovaný bifenyl obsahující kondenzátor	Kondenzátory obsahující polychlorovaný bifenyl musí být odstraněny pro bezpečné zničení.
8.	LCD displej z tekutých krystalů	LCD s povrchem větším než 100 cm ² musí být z EEZ odstraněny.
9.	PU s halogenovými retardéry hoření	Během spalování mohou halogenové retardéry hoření vytvářet toxické složky.
10.	Chlorfluorohydroxy (CFC), hydrochlorfluorohydroxy (HCFC), fluorované hydroxy (HFC)	Složky CFC, HCFC a HFC, které jsou přítomny v pěnovém a chladicím zařízení musí být správně extrahovány a zničeny.
11.	Plynové výbojky	Rtuť musí být odstraněna.

Zdroj: 11 [36]

5 Technologické postupy a celky pro recyklaci a separaci

5.1 Základní pojmy

V této kapitole jsou uvedeny nejdůležitější pojmy a odborná terminologie v souvislosti s nakládáním a recyklací OEEZ tak, jak ji definuje platná legislativa:

- **Elektrozařízení**

Je zařízení, jehož princip funkce je závislý na elektrickém proudu, případně elektromagnetickém poli včetně zařízení určeným k výrobě, distribuci a měření elektrického proudu a elektromagnetického pole. Limitujícím faktorem je napětí nepřesahující 1 000 V pro střídavý a 1 500 V pro stejnosměrný proud [3].

- **Elektroodpad**

Ze elektrozařízení, které se stalo odpadem, a to včetně součástí a konstrukčních dílců, které jsou v momentě odevzdání součástí elektrozařízení.

- **Zpracovatel elektroodpadu**

Je fyzická nebo právnická osoba, jež je oprávněna nakládat s elektroodpadem pro účely jeho zpracování dle platné legislativy (kapitola 3.1)

- **Opětovné použití**

Použití zpětně odebraného OEEZ jako celku nebo jejich součástí bez jakéhokoliv přepracování ke stejnému účelu, pro který byly určeny

5.2 Požadavky na zpracovatele

5.2.1 Vybrané povinnosti

Provozovatel zařízení zpracujícího OEEZ musí **mimo jiné** zajistit kontrolní systém BOZP, životního prostředí a kvality. Musí prokazovat neustálé zlepšování svých činností a musí vytvořit a udržovat postup k identifikaci právních požadavků týkající se zdraví, ochrany při práci, životního prostředí a kvality výroby. Provozovatel musí zajistit vodohospodářsky nepropustnou plochu pro místa, kde se uskladňují celky nebo součásti určené k demontáži nebo opětovnému použití. Musí monitorovat a vést evidenci přejímaných odpadů, jejich systému zpracování a výstupů. Základem těchto požadavků je norma ČSN EN 50625-1, Zákon č. 541/2020, o odpadech a Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2012/19/EU [37] [3] [2]. Zpracovatel by měl též aplikovat principy B A T technologií.

5.2.2 BAT techniky

Jako nejlepší dostupné techniky, též B A T techniky (best available techniques) se rozumí soubor pracovních a technologických postupů, které jsou vyvinuty do té míry, že je lze za technicky a ekonomicky únosných podmínek aplikovat do výroby za účelem co nejvyšší ochrany životního prostředí. Pro oblast nakládání s odpady je určen seznam WT, který je veřejně přístupný [38] a vymezuje vhodné technologie k jeho zpracování.

5.3 Primární mechanická separace

5.3.1 Podstata primární separace

Primární separací se rozumí částečná nebo úplná demontáž komplexních elektrozařízení na jednotlivé součásti. Prováděna je z důvodu materiálové rozmanitosti jednotlivých součástí elektrozařízení, což ve výsledku vede k časové optimalizaci a energetickým úsporám v dalších krocích zpracování. Primární separace je též vhodná ke vhodnému zacílení zpracovatelských a recyklačních metod a postupů u jednotlivých součástí a naopak vyloučení součástí, které jsou pro další zpracování nevhodné, či by byla jejich přítomnost v následných krocích zpracování dokonce nebezpečná.

Podstatou **primární separace je tedy oddělení co největšího množství složek vhodných k přímé recyklaci či složek s odlišnými zpracovatelskými postupy** a tím získaná energetická a kapacitní úspora na přímých zpracovatelských linkách. Na následujících příkladech jsou zobrazeny příklady elektrozařízení a jejich vhodnost k primární demontáži a separaci.

5.3.2 Využití primární separace

1) Vhodné ke kompletní demontáži

Vhodným příkladem těchto elektrozařízení je například mikrovlnná trouba nebo vysavač. Vysavač je z velké části tvořen plastovým ochranným krytem a plastovou nosnou konstrukcí. Menší část, avšak pro recyklaci podstatnou, tvoří sací elektromotor s ovládací elektronikou, přívodním kabelem a koncovkou. Zbylé materiály, nevhodné pro recyklaci, jsou například filtr a sběrný sáček. Rychlou ruční demontáží oddělíme využitelné složky, vhodné k dalšímu zpracování na technologických linkách - elektromotor, desku plošných spojů a kabely.

Oddělením plastů, které se v tu chvíli stávají vedlejším produktem, uspoříme značné místo na skladování a zejména energie, které bychom vynaložili, pokud bychom zpracovávali vysavač jako celek, například drcením.

V případě mikrovlnné trouby lze ručně demontovat veškeré ocelové nosné a krycí konstrukce, transformátor, kabely, desku plošných spojů, magnetron (generátor mikrovlnného záření), sklo a plasty. Ocelové, plastové a skleněné dílce odcházejí z procesu jako vedlejší produkt rovnou k recyklaci a zbylé produkty odchází k následnému zpracování na technologických linkách.

2) Vhodné k částečné demontáži

Jedná se o zařízení, u kterých se nám ekonomicky nevyplácí je demontovat celé, jelikož existují efektivnější způsoby zpracování. V tomto případě se jedná například o chladírenská zařízení - lednice, mrazáky a výdejní automaty. Při procesu demontáže je odňat kompresor, skleněné police a je odsáto chladicí médium. Z výdejních automatů jsou odmontovány navíc ještě mincovníky a desky plošných spojů. Naopak veškeré plastové dílce, ocelové výměníky i mřížky a například i dveře se ponechají na přístroji k dalšímu zpracování - konkrétně drcení.

Zde je nutné podotknout, že z důvodu toxicity chladicích médií je nutno vždy provést oddělení kompresoru a odsátí chladicího média před vlastním drcením.

3) Nevhodné k demontáži

Jedná se o zařízení, která se ekonomicky ani ekologicky nehodí k žádnému způsobu demontáže. Příkladem mohou být systémy pro ohřev vody - boilers. Z materiálové podstaty se nám takové zařízení nevyplatí nijak rozebírat (složení je pouze ocelová nádoba a plášť, izolace z PUR pěny a nerezová topná spirála), ekonomičtější variantou je jeho přímé zpracování drcením. Toto však platí pouze pro boilers s vlastní připojovací svorkovnicí, pokud je vybaven vlastním napájecím kabelem, ten je samozřejmě demontován zvlášť.

Nevhodná z demontáže jsou taktéž zářivkové trubice a žárovky. Snaha o demontáž například měděných připojovacích trnů by byla nejen ekonomická, ale i nebezpečná, jelikož by hrozila kontaminace okolí rtutí. Zářivky jsou odesílány přímo ke zpracovateli, který dokáže měď následně extrahovat.

4) Zařízení s nutnou demontáží

Do této kategorie spadají elektrozařízení, která je nutné demontovat z důvodu, že jedna nebo více jejich součástí obsahuje toxické a jinak nebezpečné látky. Jedná se o spotřebiče, jejichž součástí jsou:

- Akumulátory nebo baterie
- CRT obrazovky
- Obrazovky přesahující plochu 100 cm²
- Součástky obsahující rtuť vč. světelných zdrojů
- Součástky obsahující azbest
- Desky plošných spojů
- Inkoustové nebo tonerové kazety
- Kondenzátory s obsahem PCB (polychlorovaných bifenyly)
- Plasty s obsahem bromovaných zpomalovačů hoření
- Freony - CFC, HCFC, HFC

5.3.3 Metody primární mechanické separace

Základními dvěma metodami primární mechanické separace lze označit metody ruční primární separace a strojní (poloautomatizované) separace.

1) Ruční separace

Jedná se o nejnákladnější operaci v celém zpracovatelském řetězci. Cena lidské práce rok od roku stoupá a její efektivita ve srovnání se strojními zařízeními je malá. Zpracovatelé se samozřejmě snaží co nejvíce vytěsnit lidský aspekt z celého procesu, nicméně stále zůstává většina míst a operací, pro které je ruční separace nezbytná.

2) Strojní separace

Plná automatizace primární separace je v tomto oboru spíše utopií, zejména kvůli konstrukčním odlišnostem jednotlivých zařízení a samozřejmě vysokým nákladům na stavbu plně automatizované linky.

Neznamená to však, že by zde nebyly snahy o poloautomatizaci těchto procesů, zejména za účelem snížení náročnosti práce pro obsluhu a také zvýšení efektivity. V mnoha operacích pomáhají pracovníkům například tato strojní zařízení:

a) Hydraulické nůžky Lukas S 377

Hydraulické nůžky Lukas jsou určeny k rychlé, bezpečné a efektivní demontáži kompresorů z lednic a mrazáků. Využití najdou například i pro stříhání rozměrných kabelových svazků či kovových nosných konstrukcí. Použití těchto hydraulických nůžek je vhodné na stacionárních demontážních pracovištích technologických linek.

Technické parametry nůžek jsou: [39]

- Střihová síla: 650 kN
- Pracovní tlak: 700 bar
- Rozevření čelistí: 206 mm
- Objem olejové náplně: 110 cm³
- Hmotnost: 15,3 kg

- Střihový ekvivalent: ocelová tyč Ø 33 mm

Obrázek 7 Lukas S377



Zdroj: 12 <https://www.nordstahlservis.cz/>

b) Odizolovací stroj na kabely

Tento stroj je vhodný pro automatizované odstranění PVC izolací z kabelů. Uplatnění nachází ve chvíli, kdy je ekonomičtější z kabelů odstranit izolaci napřímo a překročit proces drcení, typicky u kabelů s velkým průřezem žil. Výhodou tohoto stroje je nízký příkon, vysoká rychlost odizolování a značný rozsah průměrů kabelů (1-38mm), který stačí na většinu běžně používaných kabelů. Konkrétně kabel C Y K Y - J 4x95 o průřezu žily 95 mm² má vnější průměr 36 mm. [40] Při rychlosti odizolování 30 m.min⁻¹ a daném příkonu se jedná o velmi zajímavou a ekonomicky výhodnou volbu oproti ručnímu odizolování, případně drcení. Stroj dokáže zpracovávat jak měděné, tak i hliníkové kabely a je vhodný jako paralelní součást zpracovatelské linky pro společnosti, které se zabývají recyklací kabelů.

Technické parametry stroje jsou: [41]

- Model: SMS-038
- Připojení do sítě: 1f/230V/50Hz
- Příkon: 380W
- Průměr odizolování: 1,5 - 38 mm
- Rychlost odizolování: 30 m.min⁻¹
- Hmotnost: 25 kg

Obrázek 8 Odizolovací stroj VEVOR



Zdroj: 13 <https://eur.vevor.com>

5.3.4 Metodické porovnání způsobů demontáže

Existují typy přístrojů, u kterých je možné primární separaci vynechat a přejít rovnou ke strojnímu zpracování. Metodika je taková, že přístroje, které neobsahují toxické látky nad množství větší než obvyklé (mimo obrazovky, zářivky, azbest, tonery, atp.) jsou celé předány k drcení a mletí. Typickým úkazem takového přístroje je například osobní počítač. Ten lze zpracovat třemi způsoby:

1. Částečná demontáž PC

Částečná demontáž počítače spočívá v rychlém vyjmutí základních komponent počítače za účelem parciálního zpracování. Z ocelového šasi se vyjme zdroj, pevný disk, DVD mechanika, kabely, deska plošných spojů a plastové ochranné krytí. Tyto součásti poté odděleně putují již jako celky k drcení a mletí. Tato metoda je uplatňována ve většině zpracovatelských zařízení z důvodu dobré ekonomické a pracovní efektivity.

Tabulka 4 Částečná demontáž PC

Výhody	Nevýhody
Rychlá základní demontáž	Zapojení lidské práce
Vyvážený podíl lidské a strojní práce	Zvýšená energetická náročnost
Oddělené zpracování dle specifických materiálů součástí	Vyšší nároky na drticí a separační technologie
Snížení objemu materiálu	
Základní hrubá separace	

Zdroj: 14 Vlastní

2. Úplná demontáž PC

Úplná demontáž počítačů spočívá, stejně jako v prvním kroku, k oddělení základních součástí. Poté jsou ale vyjmuté součásti dále ručně rozebírány a tříděny na součásti základní. Například zdroje jsou rozebrány, odstraněn je ocelový obal, kabelové příklady a ventilátor chlazení. Z pevných disků jsou odstraněny ocelové a hliníkové části, deska plošných spojů, zapisovací hlavy, motorčky a kabeláž. Z DVD čteček je odstraněno oplastování, ocelový nosný rám, plastové vodící části a deska plošných spojů. Výstupy k dalšímu zpracování jsou tedy pouze kabely a desky plošných spojů, které putují k separátnímu drcení a mletí. Tato metoda se uplatňuje spíše v malých provozech s omezenou kapacitou drtičů, jelikož je náročná na personál.

Tabulka 5 Úplná demontáž PC

Výhody	Nevýhody
Minimální ztráty materiálu během procesu	Nutnost lidské práce
Úspora energií při následném zpracování	Zvýšené ekonomické náklady
Nejvyšší čistota získaných materiálů	Zvýšený kontakt pracovníků s toxickými látkami
Maximální snížení objemu materiálu	

Zdroj: 15 Vlastní

3. Drcení celků bez demontáže

Jedná se o třetí, v úvodu této kapitoly popisovaný přístup zpracování počítačů. Spočívá v minimálním zapojení lidské síly při demontáži. Součástky z počítačů nejsou žádným způsobem demontovány, celé počítače se vsypou do drtiče a drtí se i s ocelovým šasí. Tato metoda je, co se týče nákladů na pracovníky, ze všech tří nejekonomičtější. Negativním vstupem jsou zde ceny energií, jelikož drtiče, mlýny a separátory musí být dimenzovány na vyšší přísun materiálu, než by byl u předchozích dvou metod. Drtiče a mlýny se musí rázem potýkat s velkou spoustou inertní oceli, dochází k vyššímu opotřebování střížných nástrojů a velkému navýšení spotřeby elektrické energie. Při projektování je nutné se zaměřit na vhodné dimenzování magnetických separátorů, jelikož třetinu hmotnostního podílu u osobních počítačů zaujímají slitiny železa [42]. Další z nevýhod této metody je použití vícefázového drcení před separací, jelikož z první fáze drcení jsou výstupem nehomogenní a velké části materiálu, které by bylo obtížné efektivně separovat. Nelze též zapomenout na skutečnost, že čím vícekrát prochází materiál před drtiče, tím větší je podíl emisí polévacích částic do ovzduší a možná kontaminace zaměstnanců a životního prostředí.

Tabulka 6 Drcení celých PC

Výhody	Nevýhody
Bez nutnosti přímého zapojení lidí	Vysoká energetická náročnost
Zjednodušený pracovní proces	Nutnost vícefázového drcení
Nízké náklady na skladování součástí	Vysoké nároky na drtičí a separační technologie
Mimo nákladku materiálu je proces plně automatizován	Zvýšená koncentrace emisí polévacích částic

Materiálové ztráty během procesu

Zdroj: 16 Vlastní

Z této analýzy jsou patrné výhody i nevýhody vybraných způsobů zpracování osobních počítačů. Roli zde hrají zejména ekonomické a ekologické aspekty - zpracovatelé se snaží co možná nejméně zatěžovat své zaměstnance expozicí toxických látek, ať již jejich emisemi, či přímým kontaktem s nimi. Zároveň se snaží o co nejlepší optimalizaci procesních nákladů dostupnými nástroji. Kontaminaci prostředí při dezintegračních operacích je například nutné snižovat podtlakovou ventilací s filtračními systémy, toto řešení je však také energeticky velmi náročné a nezaručuje stoprocentní separaci toxických látek z okolního prostředí. Tato podtlaková ventilace musí být přítomna v každém stupni strojního mechanického zpracování, což samo o sobě zvyšuje náklady. Je tedy na každém z výrobců, aby si zvolil způsoby a metody zpracování dle svých možností - samozřejmě v rámci platné legislativy a se zapojením BAT technologií.

5.4 Technologická zařízení ke zpracování produktů primární separace

5.4.1 Charakteristika vstupních a výstupních materiálů

Po prvotní demontáži a oddělení většiny součástí a materiálů, které jsou nevhodné pro následující recyklační procesy, jsou po dotřídění aplikovány vhodné technologické postupy spočívající v oddělení jednotlivých materiálů.

Vstupními produkty pro tyto operace jsou zejména tyto součásti:

Elektromotory

Tlumivky

Startéry

Transformátory (Cu, Cu/Al, Al vinutí)

Kabely a vodiče vč. koncovek

Magnetrony

Chladicí kompresory

Desky plošných spojů

Piny a konektory s obsahem vzácných kovů

A tato zařízení:

Lednice

Mrazáky

Výdejní automaty

Boilery

Průtokové ohřívače

V následující tabulce jsou popsány vstupní součásti nebo vybraná zařízení, jejich nejvhodnější a nejpoužívanější způsoby zpracování a materiálová charakteristika výstupu [43] [44] [45]. Vzhledem ke zcela odlišným metodám zpracování desek plošných spojů a pinů s obsahem drahých kovů budou jejich metody zpracování popsány níže. Z tabulky lze vyčíst, že nejvíce zastoupené materiálové složky jsou ocel, měď (případně hliník) a plasty.

Tabulka 7 Výstupy zpracování primární separace a nejpoužívanější metody zpracování

Vstupní produkt	Metoda zpracování	Výstupní stav	Materiálová charakteristika výstupu
Elektromotory	Drcení nebo mechanická separace	Drt'/komponenty	Drt' s obsahem oceli, mědi a plastů; případně obě separované složky
Tlumivky a startéry	Drcení	Drt'	Drt' s obsahem oceli, mědi a plastů
Transformátory	Drcení	Drt'	Drt' s obsahem oceli, mědi, hliníku a plastů
Kabely a vodiče	Drcení nebo mechanická separace	Drt'	Drt' s obsahem oceli, mědi, hliníku a PVC; případně obě separované složky
Magnetrony	Drcení	Drt'	Drt' s obsahem oceli, mědi a plastů
Kompresory chlazení	Strojní demontáž	Komponenty	Ocelový obal, elektromotor s kompresorem - další zpracování
Lednice, mrazáky	Částečná demontáž a drcení	Drt'	Kompresor chlazení; drt' s obsahem oceli, PUR izolace a plastů
Výdejní automaty	Částečná demontáž a drcení	Drt'	Kompresor chlazení, drt' s obsahem oceli, PUR izolace a plastů
Boilery, průtokové ohřívače	Drcení	Drt'	Drt' s obsahem oceli a PUR izolace

Zdroj: 17 - [38][39][40]

5.4.2 Technologické procesy a zařízení pro dezintegrační zpracování výstupů primární separace

Z tabulky číslo 6 vyplývá, že nejefektivnější metodou mechanického strojního zpracování produktů primární separace jsou dezintegrační metody, v případě rozměrnějších součástí (kabely o velkém průřezu, velké elektromotory a kompresory z lednic) je vhodné zvolit mechanické strojní zpracování.

Do dezintegračních metod zpracování elektroodpadů lze zařadit drcení a mletí. Jedná se o jeden z nejpoužívanějších způsobů zpracování výstupů primární separace i celých zařízení. Je efektivní, ekonomicky výhodný, nenáročný na obsluhu a výstupem jsou frakce o vhodné velikosti a homogenitě vhodné k dalšímu zpracování. Dochází též ke značnému snížení objemu materiálu a úspoře nákladů na přepravu a skladování. Aplikace této metody je vhodná pro většinu druhů součástí a materiálů.

5.4.2.1 Drcení

Drcení součástí nebo celků elektrozařízení je prvním krokem strojního mechanického zpracování po primární separaci. Materiál je do drtičů dopravován pásovými dopravníky a rovnoměrně dávkován dle technických možností stroje. Pro účely zpracování elektroodpadů jsou nejběžněji využívány drtiče válcové a řetězové, lze se setkat i s drtiči úderovými. Výstupem je hrubá elektroodpadní drť a její velikost je dána mnoha parametry.

- **Hřídelové rotační drtiče**

Tyto drtiče se využívají zejména pro drcení desek plošných spojů a menších elektrozařízení. Princip fungování je stříhání odpadního materiálu mezi dvěma (lze se setkat i s jedno a čtyřhřídelovými) válci osazenými střížnými segmenty a rotujícími proti sobě stejnou obvodovou rychlostí. Jedná se o pomaloběžné stroje a běžná rychlost otáčení je 5-30 ot.min⁻¹ [46]. Drtiče mohou být na výstupu osazeny sítí s rozměry ok dle přání zákazníka. Velikost výstupní frakce (pokud není osazeno sítím) je dána velikostí a profilem střížných segmentů a druhem drceného materiálu. Výhodou tohoto drtiče je univerzálnost, nízká prašnost a hlučnost, nevýhodou lze spatřovat ve velmi obtížné regulaci velikosti výstupní frakce - pro patrnou změnu je nutné vyměnit celé osazení hřídelí.

Obrázek 9 Dvouhřídelový drtič Terier



Zdroj: 18 <https://www.terier.cz/cz/vyrobky/drtice/2-hridelove-drtice/drtice-dvouhridelove-pro-velke-vykony>

- **Řetězové drtiče**

Řetězové drtiče nachází využití při zpracování nesourodých a obtížně rozpojitelných zařízení a materiálů. Funkčním prvkem je rotor s vertikální osou otáčení a připojeným ocelovým řetězem. Tento mechanismus je uzavřen v ocelovém pracovním prostoru tvaru válce, materiál je dodáván pásovým dopravníkem do horní části pracovního prostoru a gravitací je přiveden až k rotoru. Roztočený ocelový řetěz předává odpadu kinetickou energii, deformuje ho a zároveň odmršťuje na stěnu pracovního prostoru, kde díky gravitaci padá zpět do pracovního záběru řetězu. Proces se opakuje, dokud není materiál dostatečně nadrcen. Tímto způsobem jsou odděleny veškeré složky odpadu. Tyto drtiče jsou vhodné zejména na zpracování lednic, mrazáků, výdejních automatů, boilerů jim podobných zařízení, jelikož na výstupu je zaručeno oddělení oceli, plastů a PUR izolace. Velikost výstupní frakce je dána dobou zdržení odpadu v pracovním prostoru drtiče. Výhodou je jeho vysoká výkonnost, univerzálnost a míra oddělení jednotlivých materiálů, nevýhodou pak vysoká energetická náročnost, hlučnost a notné opotřebení drticího segmentu [47]. Při mé praxi ve společnosti PRAKTIK System s.r.o. ve Stráži pod Ralskem je tento typ drtiče využíván ke zpracování chlazení a průměrná životnost řetězu je cca 1 200ks lednic. Výkonová norma je 800 ks/směnu, při dvousměnném provozu je tedy řetěz měněn každý den.

- **Úderové drtiče**

Úderové drtiče se využívají zejména pro drcení tuhých a obtížně rozpojitelných součástí, jako jsou například elektromotory, tlumivky, startéry a transformátory. Funkčním prvkem je zde rotující hřídel osazená pevnými a pohyblivými kladivy. Pracovním prostorem je komora opatřená dopadovými deskami, o které se materiál dále roztírá. Kladiva dodají odpadu kinetickou energii, naruší jeho integritu a odmrští na dopadovou desku. Proces se opakuje, dokud není materiál dostatečně nadrcen a dokáže propadnout síty na spodní straně drtiče. Velikost výstupní frakce je regulovatelná velikostí ok sít. Výhodou tohoto typu drtiče je možnost zpracování tuhých součástí elektrozařízení, nevýhodou je jeho hlučnost, prašnost a vysoká energetická náročnost.

5.4.2.2 Mletí

Mletí odpadu je druhou částí technologického procesu strojního mechanického zpracování elektroodpadu. Mletím zpracováváme předdrcený výstup z první fáze zpracování, pokud je to pro nás materiálově a ekonomicky výhodné. Vhodné použití je například při zpracování kabelů a desek plošných spojů. Výstupem mletí je již homogenní frakce o malé zrnitosti (přesná velikost záleží na požadavcích pro následné zpracování) připravená k samotné separaci. V praxi recyklace elektroodpadů využíváme zejména tyto mlýny:

- **Hranolové mlýny**

Hranolové mlýny jsou rychloběžné mlýny s pevnými noži, které jsou osazeny jak na rotoru, tak i na rámu pracovního prostoru (statoru). Rotující pevné nože mají tvar obdélníku a dezintegrace probíhá stříhem materiálu mezi těmito noži. Pracovní otáčky se pohybují v rozmezí 400 - 1000.min⁻¹. Vhodné jsou zejména na zpracování kabelů.

- **Hřebenové mlýny**

Konstrukčně jsou velmi podobné hranolovým mlýnům, jediný rozdíl je tvar a množství pevných nožů na rotující hřídeli. Principem rozpojení je, stejně jako u mlýnů hranolových, stříh materiálu mezi rotujícím a pevným ostřím. Tyto mlýny jsou vhodné zejména pro drcení desek plošných spojů, jelikož nedochází k jejich zacpávání a přehlcování.

6 Výsledky a diskuse

Primárním výsledkem praktické části práce je zhodnocení problematiky metod primární separace poloproduktů při recyklačních procesech.

Ze srovnání vyplývá, že ačkoliv jsou elektrozařízení jedním z nejnehomogeničtějších odpadů vůbec, primární separací se proces jejich zpracování a recyklace významně zjednodušuje. Primární separace zajišťuje demontáž nejrozdílnějších spotřebičů na součásti, které je možné díky jejich podobným vlastnostem recyklovat mnohem snáze. Z komplexních vstupů, jako jsou například lednice, televizory, čerpadla, počítače, mobilní telefony, tiskárny, reproduktory a hračky díky primární separaci vzniká daleko ucelenější soubor součástí, které lze, vzhledem k jejich materiálovému složení, následně snadno zpracovávat.

Pokud totiž dojde k vyloučení plastů, skla a oceli, z většiny elektrospotřebičů zbydou součásti stejných nebo velmi podobných parametrů. Pokud srovnáme například televizory, tiskárny a klávesnice, jedná se o zcela odlišná zařízení. Ve srovnání praček, myček nádobí a mikrovlnných trub se jedná o ten samý případ velice rozdílných zařízení.

Aplikujeme-li primární separaci na obě tyto skupiny, které začleňují velmi rozdílné spotřebiče, docházíme k závěru, že všechny tyto spotřebiče lze zpracovávat a recyklovat velmi podobně.

Výstupy po primární separaci lze rozdělit do těchto základních kategorií: plasty, ocel, kabely, elektromotory, transformátory, desky plošných spojů a zbytkový nevyužitelný materiál. Z rozdílných zařízení jsou vytěženy součásti podobného charakteru a materiálového složení, které jsou následně zpracovávány efektivními metodami recyklace. (viz tabulka 7).

Je otázkou, zda zůstane primární separace základním kamenem zpracovatelského procesu, nebo zda ji časem nahradí drcení celků elektrozařízení s následnou náročnější separací vzniklých frakcí. Záviset to bude zejména na poměru cen energií a lidské práce.

7 Závěr

V době, kdy má produkce elektroodpadů stále se zvyšující trend a jeho zmírnění není na pořadu dne, nezbývá jiné možnosti, než přestat na tento materiál nahlížet jako na odpad, nýbrž ho brát jako cennou surovinu. Vzhledem ke zhoršujícímu se stavu životního prostředí a ztenčujícím se zásobám primárních surovin lze již jen konstatovat, že pokud chceme nadále využívat výhod množství elektrozařízení, je nutné zavést opatření pro jeho udržitelné zpracování.

Moderní technologie zpracování odpadů již naštěstí dobehly technologický vývoj a nabízí smysluplné a ekologické metody i procesy nakládání s elektroodpadem. Naštěstí již přechází doba, kdy by zpracovatelé pohlíželi na elektroodpad pouze jako na zdroj mědi, zlata a stříbra a začínají se rýsovat komplexní systémy pro nakládání s ním.

Nejrozšířenějším problémem v tomto segmentu je zejména druhotné využití plastových součástí. Plasty, určené pro nosné konstrukce i opláštění, se zatím nedaří efektivně využívat. Problémem je zde zejména široké spektrum využívaných druhů plastů a jejich aditivace. Tomuto problému vévodí fakt, že ve zpracovnách se setkávají elektrosportřebiče o různém stáří. A stejně, jako šla dopředu rychlost vývoje elektroniky, šla dopředu i rychlost vývoje plastů. V tomto případě je tedy prakticky nemožné efektivně recyklovat směsné plasty z elektroniky, jelikož jsou velmi rozdílného chemického složení. Naproti tomu součásti s obsahem kovů jsme schopni recyklovat velice efektivně.

Závěrem nezbývá nic jiného, než položení řečnické otázky. Do jaké míry by se měli zpracovatelé a vědci zaměřovat na technologie využití a recyklace právě těchto směsných plastů.

8 Seznam použitých zdrojů

- [1] STRAKA, F. *Skládkový plyn* [online]. 1 [cit. 2024-03-18]. Dostupné z: <https://old.vscht.cz/uchop/udalosti/skripta/1ZOZP/odpady/skladkovani.htm>
- [2] ČESKO. *Zákon č. 541/2020 Sb., Zákon o odpadech* [online]. 2020222 [cit. 2024-03-17]. ISSN 2336-517X. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2020-541>
- [3] *SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2012/19/EU: o odpadních elektrických a elektronických zařízeních (OEEZ)* [online]. 34 [cit. 2024-03-18]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012L0019>
- [4] ČESKO. *Zákon č. 542/2020 Sb., o vybraných výrobcích s ukončenou životností* [online]. 2020223 [cit. 2024-03-18]. ISSN 2644-4674. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2020-542>
- [5] ČESKO. *Vyhláška č. 8/2021 Sb. - o Katalogu odpadů a posuzování vlastností odpadů (Katalogodpadů)* [online]. 52021 [cit. 2024-03-18]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2021-8>
- [6] ČESKO. *Vyhláška č. 16/2022 Sb., o podrobnostech nakládání s některými výrobky s ukončenou životností* [online]. 102022 [cit. 2024-03-24]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2022-16>
- [7] MOBILIZUJEME.CZ. *Na stopě recyklaci elektroodpadu - Jeden den v demontážní dílně* [online]. In: . 2020 [cit. 2024-03-18]. Dostupné z: <https://mobilizujeme.cz/clanky/na-stope-recyklaci-elektroodpad-jeden-den-v-demontazni-dilne>
- [8] ROKLEN24. *Systém kontejnerů na elektroodpad je světový unikát* [online]. 2019 [cit. 2024-03-18]. Dostupné z: <https://roklen24.cz/system-kontejneru-na-elektroodpad-je-svetovy-unikat/>
- [9] MARAS, Tomáš. IROZHLAS.CZ. *V Novém Boru vracejí peníze lidem, kteří třídí odpad* [online]. In: . [cit. 2024-03-18]. Dostupné z: https://www.irozhlas.cz/regiony/v-novem-boru-vraceji-penize-lidem-kteri-tridi-odpad_201301031645_mtaborska
- [10]
- [11] ELEKTROWIN, A.S. *Sběrné prostředky* [online]. In: . [cit. 2024-03-18]. Dostupné z: <https://www.elektrowin.cz/sberne-prostredky.html>
- [12] ASEKOL. *Červené kontejnery* [online]. In: . [cit. 2024-03-18]. Dostupné z: <https://www.asekol.cz/cervene-kontejnery/>
- [13] ASEKOL, A.S. *Nádoby pro světelné zdroje* [online]. In: . [cit. 2024-03-18]. Dostupné z: <https://www.asekol.cz/nadoby-pro-svetelne-zdroje/>

- [14] Z10 skupin elektrozařízení zůstalo 6, změny se plně promítnou od ledna 2019 [online]. 2018, 1 [cit. 2024-03-18]. Dostupné z: <https://www.elektrowin.cz/cs/newsletter/newsletter-2018/z-10-skupin-zustalo-6.html>
- [15] Vysloužilá elektrozařízení si zaslouží druhou šanci. Jak je třídí Česko?. In: *Chytrá recyklace* [online]. [cit. 2024-03-28]. Dostupné z: <https://www.chytrarecyklace.cz/aktuality/vyslouzila-elektrozarizeni-si-zaslouzi-druhou-sanci-jak-je-tridi-cesko>
- [16] ASEKOL A.S. ASEKOL ZA ROK 2023 SESBÍRAL REKORDNÍCH 61,8 TISÍC TUN ELEKTROODPADU! [online]. In: . 2024 [cit. 2024-03-28]. Dostupné z: <https://www.asekol.cz/aktuality/asekol-za-rok-2023-sesbiral-rekordnich-618-tisic-tun-elektroodpadu/>
- [17] ZACHOVÁ, Aneta a Pavla HOSNEDLOVÁ. Odpad je surovinou budoucnosti, potenciál mají i stará elektrozařízení. Jak s nimi Evropa nakládá?. In: *Euractiv* [online]. 2020 [cit. 2024-03-28]. Dostupné z: <https://euractiv.cz/section/obehove-hospodarstvi/linksdossier/odpad-je-surovinou-budoucnosti-potencial-maji-i-stara-elektrozarizeni-jak-s-nimi-evropa-naklada/>
- [18] STATISTA. *Projected electronic waste generation worldwide from 2019 to 2030* [online]. In: . 2024 [cit. 2024-03-29]. Dostupné z: <https://www.statista.com/statistics/1067081/generation-electronic-waste-globally-forecast/>
- [19] BARSHAI, Alex. *Global E-waste Statistics* [online]. 2023 [cit. 2024-03-29]. Dostupné z: <https://blog.emew.com/global-e-waste-statistics>
- [20] BERÁNEK, Miroslav, Jitka ŠEBKOVÁ a Miroslav PEDLÍK. *Technologie kovových materiálů*. SNTL n.p., 1984. č.p. 440-33480.
- [21] ROUČKA, Jaromír. *Metalurgie neželezných slitin* [online]. CERM s.r.o., 2004 [cit. 2024-03-27]. Dostupné z: <https://ust.fme.vutbr.cz/slevarenstvi/sites/default/files/clanky/metalurgie-nezelezných-kovu/metalurgienezeleznýchkovu-skripta.pdf>
- [22] DRÁPALA, Jaromír a Miroslav KURSA. *Elektrotechnické materiály* [online]. 2012 [cit. 2024-03-27]. ISBN 978-80-248-2570-0. Dostupné z: <http://www.person.vsb.cz/archived/FMMI/ETMAT/Elektrotechnicke%20materialy.pdf>
- [23] FULKA, Tomáš. *Optimalizace oběhu baterií* [online]. Praha, 2017 [cit. 2024-03-27]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/70408/F3-DP-2017-Fulka-Tomas-DIPLOMOVA%20PRACE%20Fulka.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>. BP. ČVUT Praha.
- [24] SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2011/65/EU: o omezení používání některých nebezpečných látek v elektrických a elektronických zařízeních [online]. 23 [cit. 2024-03-27]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32011L0065>

- [25] LU, Yan a Zhenming XU. *Precious metals recovery from waste printed circuit boards: A review for current status and perspective* [online]. 2016 [cit. 2024-03-28]. ISSN 0921-3449. Dostupné z: [doi:https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.05.007](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.05.007)
- [26] VAN EYGEN, Emile, Steven DE MEESTER, Ha PHUONG TRAN a Jo DEWULF. Resource savings by urban mining: The case of desktop and laptop computers in Belgium. *Resources, Conservation and Recycling* [online]. 2016, **2016**(107), 53-64 [cit. 2024-03-28]. ISSN 0921-3449. Dostupné z: [doi:https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.10.032](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.10.032)
- [27] AHMAD, Hafiz Zaid, Adnan KHAN, Ahmad RAZA, Haseeb NOMAN a Abeera MUSHTAQ. *Extraction of Metals from Electronic Waste* [online]. 25 [cit. 2024-03-28]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/283147759_Extraction_of_Precious_Metal_GOLD_from_Electronic_Waste_by_Chemical_Leaching_Method
- [28] TSIVADZE, A. Yu., Alexey BEZDOMNIKOV a G. V. KOSTIKOVA. The Lithium Boom: Lithium Sources and Prospects for the Russian Lithium Industry. *Geology of Ore Deposits* [online]. 2023, **2023**(65), 463-468 [cit. 2024-03-28]. ISSN 1075-7015. Dostupné z: [doi:10.1134/S1075701523050094](https://doi.org/10.1134/S1075701523050094)
- [29] BAŽÍK, Radek, Lukáš ŠINDELÁŘ a Vratislav BRÝL. *Návrh zpracovatelské linky na recyklaci kabelů* [online]. Praha, 2024 [cit. 2024-03-28]. ČZU.
- [30] ZIKMUND, Petr. *Použití a vlastnosti vybraných terpolymerů* [online]. Liberec, 2010 [cit. 2024-03-28]. Dostupné z: <https://dspace.tul.cz/server/api/core/bitstreams/ff57f040-faae-4361-a6c0-39194bf261e3/content>. DP. TUL Liberec.
- [31] PARSONS, Lewis A. a Sunday O. NWAUBANI. Abrasion-wear resistance of precarbonated and water-cured concrete made using ABS plastic derived from waste electrical and electronic equipment. *Cement and Concrete Research* [online]. 2024, (179) [cit. 2024-03-28]. ISSN 0008-8846. Dostupné z: [doi:https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2024.107470](https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2024.107470)
- [32] TRIANTOU, M.I. a Petroula TARANTILI. *Plastic materials from e-waste: Classification, processing and reuse* [online]. 1-38 [cit. 2024-03-28]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/286136980_Plastic_materials_from_e-waste_Classification_processing_and_reuse
- [33] BELBLIDIA, F., MH. GABR, JF. PITTMAN a A. RAJKUMAR. Recycling high impact polystyrene: Material properties and reprocessing in a circular economy business model. *Progress in Rubber, Plastics and Recycling Technology* [online]. 2023, **39**(4), 343-363 [cit. 2024-03-28]. Dostupné z: [doi:https://doi.org/10.1177/14777606231168653](https://doi.org/10.1177/14777606231168653)
- [34] P. TEMBHARE, Saurabh, Bharat A. BHANVASE, Divya P. BARAI a Sanjay J. DHOBLE. E-waste recycling practices: a review on environmental concerns, remediation and technological developments with a focus on printed circuit boards.

- Environment, Development and Sustainability* [online]. 2022, **24**(31), 1-83 [cit. 2024-03-31]. Dostupné z: doi:10.1007/s10668-021-01819-w
- [35] VÁVROVÁ, Kateřina. *Nebezpečné látky v elektrozařízení* [online]. České Budějovice, 2008 [cit. 2024-03-31]. Dostupné z: https://theses.cz/id/1ue0xn/downloadPraceContent_adipIdno_11160. DP. Jihočeská Univerzita v Českých Budějovicích.
- [36] SVOBODOVÁ, Veronika. *Mikrovlánná separace kovových částí elektronického odpadu* [online]. Zlín, 2020 [cit. 2024-03-31]. Dostupné z: https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/47784/svobodov%202020_dp.pdf?sequence=1&isAllowed=y. BP. UTB Zlín.
- [37] ČSN EN 50625 - 1: *Sběr, logistika a požadavky na zpracování OEEZ - Část 1: Obecné požadavky na zpracování*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014, 35 s. ICS 13.030.99.
- [38] PINASSEAU, Antoine, Benoit ZERGER, Joze ROTH, Michele CANOVA a Serge ROUDIER. *Nejlepší dostupné techniky (BAT) - Referenční dokument pro zpracování odpadů: Směrnice o průmyslových emisích 2010/75 /EU o integrované prevenci a omezení znečištění* [online]. 2018, 847 [cit. 2024-03-31]. ISSN 1831-9424. EUR 29362 EN. Dostupné z: doi:10.2760/407967
- [39] NORDSTAHLSERVIS S.R.O. *HYDRAULICKÉ NŮŽKY S 377* [online]. In: . [cit. 2024-03-29]. Dostupné z: <https://www.nordstahlservis.cz/produkt/hydraulicke-nuzky-s-377/>
- [40] *Katalogový list č. ELKASL0422565: CYKY-J 4 X 95.*
- [41] VEVOR. *Electric Wire Stripping Machine* [online]. In: . [cit. 2024-03-29]. Dostupné z: https://eur.vevor.com/electric-wire-stripping-machine-c_10767/vevor-electric-wire-stripping-machine-power-wire-stripping-machine-0-06-1-49in-p_010600754978?currency=EUR&lang=en
- [42] JUNGA, Petr, Tomáš VÍTĚZ a Petr TRÁVNÍČEK. *Technika pro zpracování odpadů I*. 2015. ISBN 978-80-7509-207-6.
- [43] ZEMAN, Jakub. *Způsoby recyklace kabelů z autovraků* [online]. Pardubice, 2012 [cit. 2024-03-30]. Dostupné z: https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/49102/ZemanJ_ZpusobyRecyklace_RG_2013.pdf?sequence=2. BP. Univerzita Pardubice.
- [44] MALANÍK, Ondřej. *Možnosti recyklace elektronického odpadu* [online]. Zlín, 2009 [cit. 2024-03-30]. Dostupné z: https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/9274/malan%202009_bp.pdf?sequence=1&isAllowed=y. BP. UTB Zlín.
- [45] ŠTUDENT, Jiří. *Moderní technologie pro zpracování elektroodpadu. Odpadové fórum* [online]. 2018, **19**(10), 22-23 [cit. 2024-03-30]. Dostupné z: <https://www.odpadoveforum.cz/upload/pageFiles/eof-10-2018-pdf.pdf>
- [46] TERIER, spol. s.r.o. *Pomaluběžné drtiče řady SB III, IV* [online]. In: . [cit. 2024-03-30]. Dostupné z: https://www.terier.cz/data/x_katalog/7/files/sbiii_ivsv2.pdf

- [47] DEOS, Technology s.r.o. Nejvhodnější drtič pro elektroodpad. *Odpadové fórum* [online]. 2018, 19(10), 36 [cit. 2024-03-30]. Dostupné z: <https://www.odpadoveforum.cz/upload/pageFiles/cof-10-2018-pdf.pdf>

9 Seznam příloh