UNIVERZITA PARDUBICE

FAKULTA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2021 Marek Tykva

Univerzita Pardubice

Fakulta chemicko-technologická

Posuzování životního cyklu elektrozařízení

Bakalářská práce

2021 Marek Tykva

Univerzita Pardubice
Fakulta chemicko-technologická
Akademický rok: 2020/2021

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

Jméno a příjmení:	**Marek Tykva**
Osobní číslo:	**C18153**
Studijní program:	**B2807 Chemické a procesní inženýrství**
Studijní obor:	**Ochrana životního prostředí**
Téma práce:	**Posuzování životního cyklu elektrozařízení**
Zadávající katedra:	**Ústav environmentálního a chemického inženýrství**

Zásady pro vypracování

1. Zpracujte literární rešerši na téma posuzování životního cyklu elektrozařízení. Zaměřte se zejména na zpracování elektroodpadu, legislativní požadavky a využití odpadních elektrozařízení.

2. Bakalářskou práci zpracujte v souladu se Směrnicí UPa č. 7/2019 „Pravidla pro zveřejňování závěrečných prací a jejich základní jednotnou formální úpravu" v platném znění.

Rozsah pracovní zprávy:
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Lenka Audrlická Vavrušová**
Ústav environmentálního a chemického inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **25. února 2021**
Termín odevzdání bakalářské práce: **2. července 2021**

L.S.

prof. Ing. Petr Kalenda, CSc.
děkan

prof. Ing. Petr Mikulášek, CSc.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 25. února 2021

Prohlašuji:

Práci s názvem „Posuzování životního cyklu elektrozařízení“ jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 29. 6. 2021 Marek Tykva v. r.

PODĚKOVÁNÍ:

Touto cestou bych rád poděkoval své vedoucí práce Ing. Lence Audrlické Vavrušové za její ochotu, vstřícnost, odbornou pomoc, užitečné rady a poskytnuté materiály, které mi pomohly při zpracování této bakalářské práce.

Také bych chtěl poděkovat doc. Ing. Tomáši Weidlichovi, Ph.D. za jeho věcné připomínky v části práce, jež byly velice přínosné.

V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině a blízkým za podporu v průběhu tvorby bakalářské práce a celém mém tříletém studiu.

ANOTACE

Práce je věnována problematice posuzování životního cyklu elektrozařízení, a to zejména z hlediska vzniklého elektroodpadu. Část práce je tvořena popisem legislativních požadavků na sběr a zpracování elektroodpadu. Součástí kvalifikační práce je porovnání dvou měst Hradce Králové a Pardubic z hlediska sběru a nakládání s elektroodpadem. V závěru je obsaženo shrnutí celé práce a vyhodnocení analýzy s popisem možných zlepšení procesu pro obě města.

KLÍČOVÁ SLOVA

elektroodpad, životní prostředí, legislativa, životní cyklus, recyklace, elektrozařízení, re-use

TITLE

Life cycle assessment of electrical equipment

ANNOTATION

The Bachelor thesis deals with the issue of assessing the life cycle of electrical equipment, especially in terms of generated electrical waste. Part of the thesis is made up of a description of legislative requirements for the collection and processing of electrical waste. Next segment of the qualification work consists of a comparison of two cities Hradec Králové and Pardubice in terms of collection and management of electrical waste. The conclusion contain a summary of the whole thesis and evaluation of this analysis with a description of possible process improvements for both cities.

KEYWORDS

electrical waste, environment, legislation, life cycle, recycling, electrical equipment, re-use

OBSAH

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK 9
ÚVOD 10
1. LCA 11
1.1. Obecný popis LCA 11
1.2. Fáze LCA 11
1.2.1. Definice cíle a rozsahu 12
1.2.2. Inventarizační analýza životního cyklu (LCI) 13
1.2.3. Posuzování dopadů životního cyklu (LCIA) 14
1.2.4. Interpretace životního cyklu 15
1.3. Podávání zpráv 16
1.4. Kritické přezkoumání 16
2. LEGISLATIVA V OBLASTI ELETROODPADŮ 17
2.1. Platné evropské směrnice 17
2.1.1. Směrnice 2012/19/EU 17
2.1.2. Směrnice 2011/65/EU 19
2.2. Platné tuzemské zákony 20
2.2.1. Zákon č. 541/2020 Sb. 21
2.2.2. Zákon č. 542/2020 Sb. 22
3. NAKLÁDÁNÍ S POUŽITÝMI ELEKTROZAŘÍZENÍMI 24
3.1. Zpětné využití elektrozařízení 24
3.1.1. Re-use 24
3.1.2. Re-use centra a re-use pointy 25
3.1.3. Model cirkulární ekonomiky 25
3.2. Zpracování elektroodpadu 27
3.2.1. Sběr a demontáž 28
3.2.2. Recyklace 29
3.2.3. Látkový recovering 32
3.2.4. Nakládání s nevyužitelným elektroodpadem 34
4. POROVNÁNÍ NAKLÁDÁNÍ S ELEKTROODPADEM V HRADCI KRÁLOVÉ A PARDUBICÍCH 36
4.1. Sběr elektroodpadu 37
4.2. Re-use centra a sběrná místa elektroodpadu 39
4.3. Zpracování elektroodpadu 39
4.4. Vyhodnocení analýzy 40
ZÁVĚR 41
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY 42

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK

Obrázek 1: Rámec LCA 12
Obrázek 2: Symbol pro označení EEZ 18
Obrázek 3: Značka shody CE 20
Obrázek 4: Ilustrační modely cirkulární a lineární ekonomiky 26
Obrázek 5: Složení elektroodpadu 27
Obrázek 6: Tři stupně zpracování elektroodpadu 28
Obrázek 7: Schéma průmyslové recyklační jednotky 31
Obrázek 8: Schéma postupu zpracování elektronických komponentů 34
Obrázek 9: Vývoj počtu obyvatel obou měst 36
Obrázek 10: Zpětný odběr výrobků (ZPOV) 37
Obrázek 11: Měrná produkce ZPOV 38
Obrázek 12: Produkce odpadních baterií a akumulátorů 39

Tabulka 1: Maximální tolerované hmot. koncentrace vybraných látek 19
Tabulka 2: Minimální úroveň využití odpadních elektrozařízení 22
Tabulka 3: Vybrané druhy odpadů z Katalogu odpadů 36
Tabulka 4: Odpadní materiálové toky bez ZPOV (HK) 37

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

LCA Life Cycle Assesment (Posuzování životního cyklu)

LCIA Life Cycle Impact Assesment (Posuzování dopadů životního cyklu)

LCI Life Cycle Inventory (Inventarizační analýza životního cyklu)

EEZ elektrická a elektronická zařízení

OEEZ odpadní elektrická a elektronická zařízení

POPs Persistent Organic Pollutants (Perzistentní organické znečišťující látky)

BAT Best Available Techniques (Nejlepší dostupné techniky)

BREF Best available techniques Reference Document (Referenční dokument o BAT)

PCB polychlorované bifenyly

PBB polybromované bifenyly

PBT perzistentní, bioakumulativní a toxické chemické látky

TBE tetrabromethan

PM_{10} prachové částice a průměru menším než 10 μm (polétavý prach)

$PM_{2,5}$ prachové částice a průměru menším než 2,5 μm (jemný prach)

PCB^{*} Printed Circuit Board (Tištěný spoj)

IRCF Inductively Coupled radio Frequency plasma (Indukčně vázaná vysokofrekvenční plazma)

ÚVOD

Za dobu mého studia oboru Ochrana životního prostředí na Fakultě chemicko-technologické Univerzity Pardubice jsem se setkal s různými druhy odpadů, které svou činností produkuje člověk. V současnosti se celosvětově řeší zejména problematika globálního oteplování, využívání neobnovitelných zdrojů energie či používání plastů a následné využívání plastového odpadu. V posledních pár letech se však začínají dostávat na povrch informace o způsobech těžby nerostů jako je například lithium nebo kobalt v rozvojových zemích, především v Africe. Zde pracují lidé, i děti, v podmínkách neslučujících se s bezpečným pracovním prostředím, viz. Demokratická republika Kongo [1].

Tyto nově nabyté informace byly stěžejním impulzem, pro směrování kvalifikační práce k problematice elektrozařízení a způsobu nakládání s kovy se zaměřením na vzniklý elektroodpad. Je nutné předejít nadměrné těžbě a ohrožení dělníků pracujících v dolech. K eliminaci těchto rizik může být ku prospěchu zpětné využití co největšího podílu elektroodpadu vzniklého z vysloužilých elektronických zařízení, zejména vzácných kovů.

Pro tyto účely je třeba pochopit celý proces výroby, využití a recyklace elektrozařízení. K tomu je uzpůsoben tzv. Life cycle assesment neboli LCA, jenž se zabývá posuzováním životního cyklu jakéhokoliv výrobku či služby. Teoretická část bude obsahovat představení a podrobnější popis celého procesu pomocí příslušných evropských směrnic. Legislativa v oblasti nakládání s elektroodpadem zahrnuje další normy, nejen evropské, ale i tuzemské. Společně s nimi budou představeny i nejběžnější postupy a způsoby nakládání s elektroodpadem za účelem co největšího zpětného využití materiálů.

Praktická část bude zaměřena na porovnání dvou měst z oblasti Východních Čech, konkrétně Hradce Králové a Pardubic. Srovnání bude spočívat v analýze poskytnutých dat nakládání s elektroodpadem, jeho sběrem, možnostmi odkládání pro občany a způsobem zpracování odpadních elektrických a elektronických zařízení.

Cílem kvalifikační práce bude bližší představení životního cyklu elektrozařízení, jak z hlediska legislativy, tak přímo způsobů zpracování elektroodpadu. Dalším cílem bude vyhodnocení analýzy měst Hradce Králové a Pardubic ve spojení s krátkou úvahou nad možnostmi zajišťující zvýšení efektivnosti zpětného odběru elektroodpadu.

1. LCA

LCA neboli Life cycle assessment (Posuzování životního cyklu) je studie zaměřující se na environmentální aspekty a možné dopady na životní prostředí v průběhu života produktu, („od kolébky až po hrob“) [2].

1.1. Obecný popis LCA

Studie posuzování životního cyklu bere v úvahu úplný životní cyklus produktu. Ten začíná těžbou, pokračuje získáváním surovin, produkcí energie, výrobou a zpracováním materiálu. Dále je zahrnuto také užití spotřebitelem, úprava po skončení životnosti a nakonec odstraňování. Díky tomuto systematickému přehledu je možné identifikovat a eliminovat potencionální environmentální zátěže tvořené mezi fázemi životního cyklu nebo jednotlivými procesy [2].

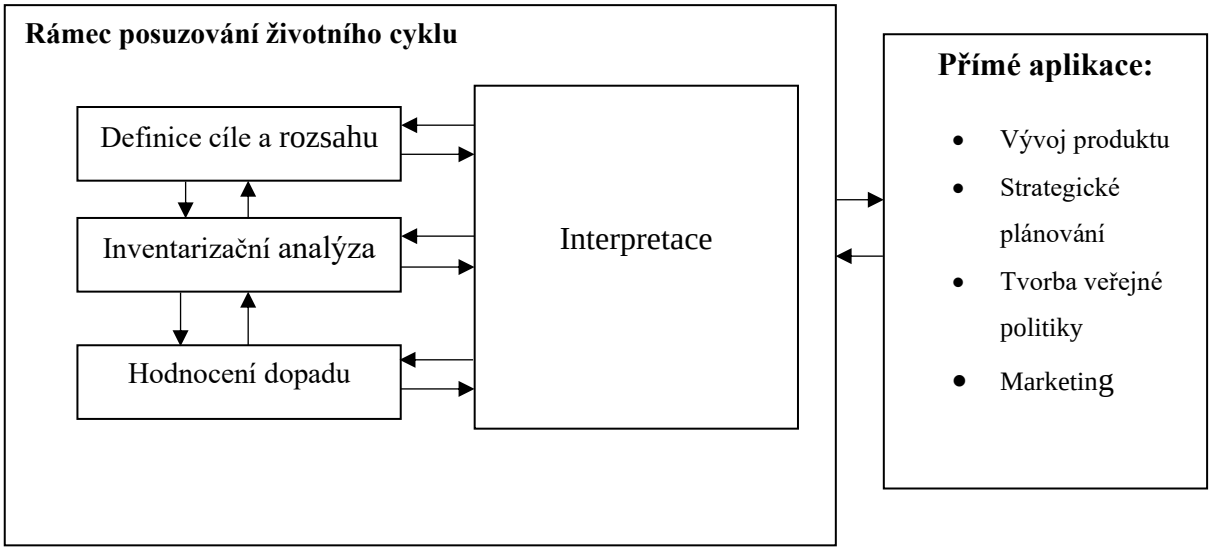
Pro LCA studie je typické, že nezahrnuje ekonomické a sociální aspekty a dopady. Celá studie je postavena okolo funkční jednotky. Ta je definována jako hlavní předmět zkoumání. Průběh studie je iterativní, tj. jednotlivé fáze LCA využívají výsledky předchozích fází. To přispívá k větší ucelenosti a konzistenci studie. Nesmíme zapomínat na nutnost vést výzkum komplexně, to znamená brát v úvahu všechny charakteristické znaky nebo aspekty přírodního prostředí, lidského zdraví a zdrojů [2].

1.2. Fáze LCA

Studie LCA je rozdělena do čtyř fází:

a) fáze stanovení cíle a rozsahu,
b) fáze inventarizační analýzy,
c) fáze posuzování dopadů a
d) fázi interpretace.

Vztah mezi jednotlivými fázemi je znázorněn na schématu [2].



Obrázek 1: Rámec LCA

Zdroj: [2]

1.2.1. Definice cíle a rozsahu

Při definování cíle LCA musí být jednoznačně stanoveno s jakými výstupy počítáme, že nastanou a jak budou použitelné pro danou problematiku. Důležitým aspektem jsou také jasně dané důvody pro provádění studie. Studie by měla mít předběžně vytipovaný okruh adresátů, kteří budou seznámení s výsledky studie. Jedná se zejména o subjekty z podnikatelské sféry mající zájem o výrobu nebo provozování produktu, místní politici zabývající se ochranou životního prostředí nebo obyvatelé potencionálně dotčených území [3].

Rozsah studie musí splňovat řadu požadavků. Musí být jasně popsán posuzovaný produktový systém. Ten je definován jako soubor jednotkových procesů s elementárními a produktovými toky plnící jednu nebo více funkcí, modelující životní cyklus produktu. Jak již bylo zmíněno výše, jeden ze základních prvků studie je funkční jednotka a jednotkový proces. Rozsahem studie by měla být popsána hranice systému, ta určuje, které jednotkové procesy mají být zahrnuty v LCA. Důležitý je především jejich soulad s cílem studie. Další položky, které se musí vzít v úvahu jsou alokační postupy, metodologie LCIA a typ odpadů, použitá interpretace, předpoklady, výběry hodnot, povinné a volitelné prvky, omezení, požadavky na kvalitu údajů a typ kritického přezkoumání [3].

Ve studii LCA musí být specifikována **funkce**, tj. charakteristiky výkonu, posuzovaného systému. **Funkční jednotka** má za cíl poskytnout základ, k němuž jsou vstupní a výstupní údaje normalizovány. Součástí postupu je definování referenčního toku. Jsou to všechny

výstupy z procesů v daném produktovém systému, jenž je potřeba k naplnění funkce vyjádřené funkční jednotkou [2].

Hranice systému určuje, jaké jednotkové procesy mají být ve studii posuzování životního cyklu zahrnuty, např. získávání surovin, vstupy a výstupy v hlavní výrobní/zpracovatelské řadě, distribuce/transport, výroba a užití paliv, elektřiny a tepla apod. Musí být také rozhodnuto o míře detailnosti vybraných jednotkových procesů [2].

Aby byl popis jednotlivých procesů strukturovaný a jasný, používá se metoda procesního postupového diagramu. Každý jednotkový proces musí být vysvětlen tak, aby bylo jasné, kde jednotkový proces začíná, ve smyslu získávání surovin nebo meziproduktů, jaký je charakter přeměn a činností, kde jednotkový proces končí, ve smyslu místa určení meziproduktů nebo finálních produktů. Snažíme se dosáhnout takového ideálního stavu, kdy vstupy a výstupy budou na hranicích systému elementárními a produktovými toky. Výsledky předběžné analýzy nám pak řeknou, které vstupy, potažmo výstupy máme z hlediska ochrany životního prostředí zahrnout do studie LCA [3].

Materiálové a energetické vstupy musí zahrnovat vstupy a výstupy týkajících se dodávky surovin a paliv, skryté energie materiálů a energetické náročnosti procesů, kterých se přímo účastní, tj. kde jsou využívány [3].

Údaje vybrané pro studii posuzování životního cyklu závisí na cíli a rozsahu studie. Mohou být shromážděny buď z výrobních míst spojených jednotkovými procesy anebo mohou být získány či vypočteny z jiných zdrojů. V praxi mohou všechny kategorie údajů obsahovat jak měřené, vypočtené, tak odhadnuté údaje [3].

Rozsah studie musí definovat, zda je **kritické přezkoumání** nutné a pokud ano, jakým způsobem má být provedeno; požadovaný typ kritického přezkoumání a kdo by měl provádět přezkoumání, respektive jaká je jeho odborná úroveň [3].

1.2.2. Inventarizační analýza životního cyklu (LCI)

Stanovení cíle a rozsahu nám dává výchozí plán pro provedení inventarizační analýzy životního cyklu. Ta je definována jako fáze posuzování životního cyklu zahrnující shromažďování dat a kvantifikaci vstupů a výstupů jednotkových procesů během životního cyklu produktu [2].

Údaje kvalitativní a kvantitativní musejí být shromážděny pro každý jednotkový proces, který probíhá uvnitř hranic systému. Ať už jsou změřeny, vypočteny nebo odhadnuty, jsou

použity ke kvantifikaci vstupů a výstupů jednotkového procesu. K tomu, aby se eliminovala šance nepochopení některé z částí inventarizace je ve studii zaznamenán popis každého jednotkového procesu [3].

Hrubé třídění údajů se provádí pomocí tzv. hlavních titulů a zahrnují energetické vstupy, surovinové vstupy, vstupy pomocných materiálů, jiné fyzikální vstupy, produkty, koprodukty, odpad, úniky do vzduchu, půdy a vody a ostatní environmentální aspekty [3].

Při určování elementárních toků spojených s výrobou by měl být použit aktuální produkční mix. Produkční mix si můžeme představit na příkladu, kdy při výrobě a transportu elektřiny musíme počítat s tzv. mixem elektřiny, účinnosti spalovacího zařízení (např. u tepelných elektráren), přeměnou, přenosem a distribučními ztrátami [3].

Součástí výpočtů je i validace údajů, která může zahrnovat vytváření např. materiálových bilancí, energetických bilancí nebo srovnávací analýzy únikových faktorů. Jelikož se všechny jednotkové procesy řídí zákony zachování hmoty a energie jsou hmotnostní a energetické bilance vhodným nástrojem pro kontrolu platnosti popisu jednotkového procesu [3].

Alokace je proces, kdy dochází k rozdělení vstupních nebo výstupních toků mezi posuzovaný produktový systém a jiný produktový systém (může jich být i více). Suma alokovaných vstupů a výstupů jednotkového procesu se musí rovnat vstupům a výstupům z jednotkového procesu před alokací. Společně s alokací musí být vysvětlen a zdokumentován také použitý alokační postup [3].

Při **alokačních postupech** pro opětovné použití nebo recyklaci produktu je nutné vzít v úvahu změny základních vlastností materiálů. Nicméně v těchto situacích je nutné dodatečného zkoumání z důvodů, že opětovné použití a recyklace (stejně tak kompostování, opětovné získání energie a další procesy) mohou mít za následek, že vstupy a výstupy spojené s jednotkovými procesy těžby, úpravy surovin a konečného nakládání s produkty, budou sdíleny více než jedním produktovým systémem [3].

1.2.3. Posuzování dopadů životního cyklu (LCIA)

LCIA se od například posuzování vlivů na životní prostředí nebo hodnocením rizika liší ve svém relativním přístupu, jenž je založen na funkční jednotce. Fáze posuzování dopadů životního cyklu zahrnuje skupinu výsledků indikátoru pro různé kategorie dopadu, které dohromady představují profil LCIA produktového systému. LCIA se skládá z povinných a volitelných prvků [2].

Povinnými prvky LCIA jsou:

- výběr kategorií dopadu, indikátorů kategorie a charakterizačních modelů,
- přiřazení výsledků LCI ke kategoriím dopadu (klasifikace),
- výpočet výsledků indikátorů kategorie (charakterizace).

Výběry kategorií dopadu a jejich indikátorů (kvantifikovatelné vyjádření kategorie dopadu) by měly být uváděny přesně. Jejich výběr musí být v souladu s předchozími fázemi LCA (iterační postup) a odrážet komplexně soubor environmentálních problémů, ke kterým se vztahují. Součástí tohoto segmentu by mělo být popsání environmentálního mechanismu a charakterizačního modelu, který uvádí do souvislostí výsledky LCI (inventarizační fáze) poskytující základ pro charakterizační faktory. Charakterizační modely popisují vztah mezi výsledky LCI, indikátory kategorie dopadu a v některých případech konečnými body kategorie. Charakterizační model se rovněž používá k odvození charakterizačních faktorů, což je faktor používaný pro přepočet přiřazených výsledků z LCI na společnou jednotku indikátoru kategorie dopadu pro snadnější porovnávání [3].

Charakterizace indikátorů kategorie dopadu spočívá v převodu výsledků LCI na společné jednotky uvnitř kategorie dopadu. Pokud jsou výsledky z fáze LCI nedostupné nebo je jejich kvalita nedostatečná, poté je požadován buď opakovaný sběr údajů, nebo úprava cíle a rozsahu. Pro eliminaci případných rozdílností indikátorů kategorií dopadu a jejich větší komplexnost slouží volitelné prvky LCIA [3].

Volitelné prvky LCIA se volí v závislosti na cíli a rozsahu studie. Patří mezi ně například normalizace, seskupování, vážení nebo analýza kvality údajů. Tyto prvky se implementují do LCIA v případě potřeby dodatečné analýzy či k zajištění těch dat, které jsou pro výpočet indikátoru stěžejní [3].

Výsledkem jsou poté indikátory kategorie dopadů mající vědeckou i technickou hodnotu, jsou dostatečně environmentálně závažné a jsou vhodné při porovnávacích tvrzeních přístupné veřejnosti [3].

1.2.4. Interpretace životního cyklu

Fáze interpretace je čtvrtou a poslední fází LCA. Součástí interpretace životního cyklu je identifikace významných problémů, vyhodnocení, závěry omezení a doporučení. Společně s první fází, tj. cíl a rozsah studie, tvoří interpretace rámec celé studie LCA, zatímco fáze LCI a LCIA přinášejí informace o produktovém systému [3].

Interpretační fáze by měla dodat výsledky, které jsou v souladu s předchozími fázemi, dochází k závěrům, objasňují omezení a poskytují doporučení. Ve vyhodnocení by mělo být uvedeno, že výsledky LCIA jen odhadují potenciální environmentální vlivy a nepředvídají skutečné dopady na konečné body kategorie dopadu [2].

Čtvrtá fáze LCA má poskytovat pochopitelný, kompletní a strukturovaný popis výsledků studie v souladu s cílem a rozsahem. Mimo jiné může interpretační fáze zahrnovat iterativní proces, kdy se opětovně přezkoumává a reviduje rozsah studie [2].

1.3. Podávání zpráv

Zpráva o výsledcích LCA by měla být zaměřena na všechny fáze, tzn. na údaje, metody a předpoklady použitými ve studii i s jejich omezeními. Mezi hlavní body závěrečné zprávy patří vztah mezi výsledky LCI, popis kvality údajů, konečné body kategorie dopadu, výběr kategorií dopadu, charakterizační modely, faktory, environmentální mechanismy a profil výsledků indikátorů. Je důležité, aby zpráva byla plně transparentní [2].

1.4. Kritické přezkoumání

Kritické přezkoumání je proces ověřování, zda LCA splnilo všechny náležité požadavky na metodologii, údaje, interpretaci a podávání zpráv. K tomuto procesu se používají procesy kritického přezkoumání, jenž se liší v subjektu, který přezkoumání provádí. Může to být buďto interní nebo externí expert s dostatečnou odborností a informacemi o LCA, nebo tým zainteresovaných stran. Nezávislý expert je v tomto případě vybrán zadavatelem původní studie. Tento expert pak vede tým sestávající se z nejvýše třech lidí, kdy zbylí dva jsou často ze stran dotčených závěry LCA, jako jsou vládní agentury, nevládní skupiny a dotčený průmysl [2].

2. LEGISLATIVA V OBLASTI ELETROODPADŮ

Jelikož je Česká republika součástí Evropské unie, musí se řídit doporučeními, nařízeními a směrnicemi vydanými EU. Tyto evropské normy musejí členské státy EU implementovat v platném znění a do určité doby do svých vlastních zákonů, aby byly tyto cíle vymahatelné na jejich území.

S rostoucí akcelerací růstu trhu a zkracováním inovačních cyklů se nahrazování elektrických a elektronických zařízení zrychluje, což má za následek zvětšující se množství elektroodpadů. Evropské směrnice a tuzemské zákony mají za cíl předcházet zbytečné nadprodukci elektroniky regulováním výroby, přísnějšími limity na různé skupiny chemických individuí, které se mohou ve výrobcích vyskytovat, nebo v případě elektroodpadu, lepším nakládáním s OEEZ (odpadní elektrická a elektronická zařízení) a jeho recyklací a znovupoužitím v co největším procentuálním zastoupení [4].

2.1. Platné evropské směrnice

V dnešní době mezi nejdůležitější směrnice v oblasti OEEZ patří Směrnice Evropského parlamentu a rady 2012/19/EU o OEEZ a Směrnice evropského parlamentu a rady 2011/65/EU o omezení používání některých nebezpečných látek v EEZ.

2.1.1. Směrnice 2012/19/EU

Účelem této směrnice je přispívat k udržitelné výrobě a spotřebě. Cílem je předcházet vzniku OEEZ, např. opětovným použitím, recyklací a dalšími formami jejich využívání, aby se snížilo množství odpadu určeného k odstranění a podílet se na účinném využívání zdrojů a opětovném získávání hodnotných druhotných surovin jako jsou vzácné kovy apod. [4].

Předmět se z velké části opírá o prvky udržitelného rozvoje, stanovuje opatření na ochranu životního prostředí a lidského zdraví před negativními vlivy OEEZ. Tato opatření zahrnují i posouzení návrhu výrobku, kdy výrobci a členské státy musí spolupracovat při plánování podoby výrobku s ohledem na budoucí recyklaci a opětovné použití EEZ. To zahrnuje vhodný ekodesign usnadňující demontáž a procesy popsané výše [4].

Náležité zpracování OEEZ by měly zajistit výrobci nebo třetí osoby jednající jejich jménem, aby vznikly systémy zajišťující využití OEEZ při uplatnění nejlepších dostupných technik. Využitím je myšlena příprava na opětovné využití a recyklace. Pokud toto není možné, musí být alespoň zbaveny všech tekutin a selektivně zpracovány, tzn. zpracování materiálu jako jsou

např. konstrukční částí obsahující rtuť, baterie, desky tištěných spojů, azbestové odpady, vnější elektrické kabely a další. Se zpracováním je spojené také skladování OEEZ, které musí být v souladu s technickými požadavky stanovenými v této směrnici a jejích přílohách. Členské státy mohou pro potřeby ochrany životního prostředí vypracovat normy minimální jakosti pro zpracování sebraných OEEZ [4].

Zpracování OEEZ může být provedeno i v jiných členských státech EU či státech mimo Unii. V tomto případě se musí OEEZ přepravit do místa jeho zpracování. Směrnice 2012/19/EU a nařízení č. 1013/2006 upravuje, do kterých zemí lze vyvážet [4].

Symbolem označující tříděný sběr je pojízdný kontejner na odpad přeškrtnutý křížem. Na každém EEZ musí být tento symbol vytištěn viditelně, čitelně a nesmazatelně [4].

Obrázek 2: Symbol pro označení EEZ

Zdroj: [4]

Součástí směrnice o OEEZ jsou přílohy vztahující se k jednotlivým článkům. Příloha I zahrnuje kategorie EEZ spadající do oblasti působnosti této směrnice:

1. velké spotřebiče pro domácnost,
2. malé spotřebiče pro domácnost,
3. zařízení informačních technologií a telekomunikační zařízení,
4. spotřební elektronika a fotovoltaické panely,
5. osvětlovací zařízení,
6. elektrické elektronické nástroje (vyjma velkých stacionárních průmyslových nástrojů),
7. hračky, vybavení pro volný čas a sporty,
8. zdravotnické prostředky (vyjma implantovaných a infikovaných výrobků),
9. přístroje pro monitorování a kontrolu,
10. výdejní automaty.

Souhrnně se jedná zejména o chladničky, klimatizační zařízení, obrazovky, televize, světelné zdroje, pračky, sušičky, vysavače, mikrovlnné trouby, mobilní telefony, GPS, kalkulačky, počítače, tiskárny a další. Dodatečné kategorie doplňuje příloha III [4].

Příloha III zahrnuje kategorie:

1. zařízení pro tepelnou výměnu,
2. obrazovky, monitory o ploše větší než 100 cm^2,
3. světelné zdroje,
4. velká zařízení,
5. malá zařízení,
6. malá zařízení informačních technologií.

Minimální cíle týkající se využití OEEZ (příloha V) jsou rozděleny podle jednotlivých kategorií v příloze I a III. Příloha V řeší, jaké minimální procentuální množství OEEZ musí být využito či recyklováno. Evropská unie udává, že OEEZ mají být zpětně využitelné alespoň v intervalu od 70 do 85 % a recyklovány alespoň v intervalu od 50 do 80 % v závislosti na druhu OEEZ. Tato čísla by se měla každým rokem postupně zvyšovat [4].

2.1.2. Směrnice 2011/65/EU

Směrnice Evropského parlamentu a rady o omezení používání některých nebezpečných látek v elektrických a elektronických zařízeních byla vytvořena s cílem chránit životní prostředí a lidské zdraví před znečišťujícími látkami, jejichž účinky přesahují hranice členských států a je nutno vypořádat se s problematikou jejich šíření jednotně na celém území Unie. Tato směrnice stanovuje pravidla pro používání nebezpečných látek v EEZ s cílem přispět k environmentálně šetrnému využití a následnému zneškodnění odpadních EEZ [5].

Preventivní opatření členských států mají zajistit, aby EEZ uváděná na trh včetně kabelů a náhradních dílů pro jejich opravy neobsahovaly látky uvedené v příloze II. Součástí jsou i maximální hodnoty hmotnostní koncentrace tolerované v homogenních materiálech [5].

Tabulka 1: Maximální tolerované hmot. koncentrace vybraných látek

Prvky/Chemické látky	**Maximální tolerované hmot. koncentrace**
	%
olovo (Pb)	0,1
rtuť (Hg)	0,1

kadmium (Cd)	0,01
šestimocný chrom (Cr^{6+})	0,1
polybromované bifenyly (PBB)	0,1
polybromované difenylethery (PBDE)	0,1

Zdroj: [5]

Komise však může tento seznam kdykoliv podrobit přezkoumání o možném zahrnutí dalších látek (těžké kovy, prachové částice o velmi malých rozměrech atd.). Během přezkumu vede komise konzultace s hospodářskými subjekty, provozovateli recyklace, zpracovateli odpadů, organizacemi na ochranu životního prostředí a sdružením zaměstnanců a spotřebitelů [5].

Členské státy musí zajistit, aby distributoři uváděli na trh EEZ, která nesou označení CE, což je doklad, že výrobek prošel kontrolou před uvedením na trh a splňuje všechny příslušné základní požadavky na bezpečnost, ochranu zdraví a životního prostředí [8].

Obrázek 3: Značka shody CE

Zdroj: [8]

Ačkoliv jsou omezení na vybrané nebezpečné látky výše velmi přísná, existují však výjimky, kdy výrobky mohou obsahovat olovo, rtuť a další látky uvedené v příloze II v maximálně tolerovaných hodnotách hmotnostních koncentrací. Mezi tato použití vyňatá z omezení patří rtuť v různých typech zářivek, výbojkách a jiných světelných zdrojích, olovo ve skle obrazovek, pájkách, kadmium v elektrických kontaktech a bezpečnostních tepelných pojistkách, šestimocný chrom, jenž byl součástí antikorozního činidla v chladících systémech a slitina mědi obsahující až 4 % hmot. olova a další [5].

Další výjimky jsou uvedeny v příloze IV specifické pro zdravotnické prostředky a monitorovací a kontrolní přístroje. Jedná se o detektory ionizujícího záření, rentgenové trubice, referenční elektrody, detektory infračerveného záření, fluorescenční spektrometry a další [5].

2.2. Platné tuzemské zákony

Česká republika je členem Evropské Unie od 1. května 2004 a je povinna řídit se jejími nařízeními, směrnicemi a doporučeními. Směrnice obsahují cíle, kterých mají členské státy

dosáhnout v předem domluvené časové lhůtě, avšak neřeší, jakými cestami se daný stát vydá, aby tyto cíle splnil. Pro účel kvalifikační práce jsou stěžejní zejména Zákon č. 541/2020 Sb. o odpadech a Zákon č. 542/2020 o výrobcích s ukončenou životností.

2.2.1. Zákon č. 541/2020 Sb.

Účelem Zákona o odpadech je zajistit vysokou úroveň ochrany životního prostředí, zdraví lidí a trvale udržitelné využívání přírodních zdrojů díky předcházení vzniku odpadů a s jejich náležitým a šetrným nakládáním. Tento zákon si také dává za cíl postupně optimalizovat odpadové hospodářství tak, aby byl umožněn přechod k oběhovému hospodářství. Nedílnou součástí jsou i zapracované příslušné předpisy Evropské unie řešící problematiku vzniku a nakládání s odpady [7].

Odpadovým hospodářstvím se rozumí činnost zaměřená na předcházení vzniku odpadu, nakládání s odpadem, následnou péči o místo, kde je odpad trvale uložen a kontrola všech těchto činností. Hierarchické pojetí odpadového hospodářství je založeno na prioritizaci, některých z těchto činností, zejména pak předcházení vzniku odpadů. Pokud toho nelze dosáhnout přistupuje se k přípravě k opětovnému použití odpadu (zpětné využití, energetické využití), recyklaci až po jeho odstranění [7].

Vyhláškou k tomuto zákonu je stanoven tzv. Katalog odpadů, který každému typu odpadu přiřazuje specifický číselný kód potřebný pro jeho snadnou identifikaci. K tomuto číslu se přidává ještě písmeno „O“ či „N“ v závislosti na povaze odpadu, zda se jedná o ostatní („O“) nebo nebezpečný odpad („N“) [7].

V EEZ a OEEZ se mohou vyskytovat různé nebezpečné látky, které mají negativní vliv jak na životné prostředí, tak lidské zdraví. Mezi takovéto chemické látky patří polychlorované bifenyly (PCB), perzistentní organické látky (POPs), odpad obsahující azbest, odpad rtuti a dalších těžkých kovů nebo odpady s obsahem radionuklidů [7].

Polychlorované bifenyly, polychromované terfenyly, monometyltetrachlordifenylmetan, monometyldichlordifenylmetan, onometyldibromdifenylmetan a směsi obsahující jednu nebo více z uvedených látek nesmí překročit koncentraci 50 mg/kg v jednom zařízení. Zařízení, která mohou obsahovat PCB jsou např. kondenzátory, rezistory, indukční cívky, vakuová čerpadla nebo elektronická zařízení plněná elektroizolační kapalinou [7].

Všechny odpady obsahující nebezpečné látky obsažené v Zákoně o odpadech a v Evropské směrnici 2012/65/EU musí být odstraněny, a to pouze v zařízeních k tomu vhodných.

Tato dekontaminační zařízení a jejich vlastnící se musí řídit ministerstvem stanovenými vyhláškami a provádět dekontaminaci v souladu s technickými normami, aby nedocházelo k úniku jeho náplně do okolního prostředí [7].

2.2.2. Zákon č. 542/2020 Sb.

Zákon o výrobcích s ukončenou životností zapracovává příslušné předpisy Evropské unie a upravuje pravidla pro předcházení vzniku odpadu z vybraných výrobků, tj. elektrozařízení, baterie nebo akumulátory, pneumatiky a vozidla. Pro potřeby této práce se zaměřím na elektrozařízení [6].

Po ukončení životnosti elektrozařízení je výrobce či distributor povinen zajistit pro spotřebitele místa, kde je možné tyto výrobky odložit pro účely zpětného odběru a následného zpracování, využití nebo odstranění za podmínek stanoveným tímto zákonem. Provozovatel odběrových míst musí výrobek s ukončenou životností předat pouze zpracovateli určenému výrobcem, a to buď přímo nebo prostřednictvím dopravce. Pokud tyto výrobky obsahují kapalné látky nebo jiné součásti mající negativní vliv na životní prostředí nebo zdraví osob, je nezbytné zajistit dopravcem, aby u nich nedošlo k mechanickému poškození a úniku těchto látek při přepravě [6].

Elektrozařízení, pokud obsahují všechny součásti potřebné pro jeho použití ke stejnému účelu, k jakému bylo původně určeno a jeho funkčnost a bezpečnost byla ověřena, lze podrobit procesu přípravy k opětovnému použití. V případě, že je odpadní elektrozařízení neúplné či v neopravitelném stavu, je výrobce povinen tato zpětně odebraná elektrozařízení zpracovat pomocí nejlepších dostupných technik (BAT). Míra využití a recyklace zpětně odebraných EEZ je názorně ukázána v tabulce [6].

Tabulka 2: Minimální úroveň využití odpadních elektrozařízení

Skupina elektrozařízení	**Zpětné využití**	**Recyklace**
	%	%
1.	85	80
2.	80	70
3.	neprobíhá zpětné využití	80
4.	85	80
5.	75	55
6.	75	55

Zdroj: [6]

Skupiny elektrozařízení:

1. zařízení pro tepelnou výměnu,
2. obrazovky, monitory a zařízení obsahující obrazovky o ploše větší než 100 cm^2,
3. světelné zdroje,
4. velká zařízení, jejichž kterýkoli vnější rozměr přesahuje 50 cm,
5. malá zařízení, jejichž žádný vnější rozměr nepřesahuje 50 cm,
6. malá zařízení informačních technologií a telekomunikační zařízení, jejichž žádný vnější rozměr nepřesahuje 50 cm.

Financování nakládání s odpadním elektrozařízením pocházejícím z domácnosti má na starosti výrobce, který je povinen financovat zpětný odběr a následné zpracování. V případě „nedomácího“ elektroodpadu buď výrobce elektrozařízení, pokud bylo EEZ uvedeno na trh po dni 13. srpna 2005, nebo konečný uživatel, pokud bylo EEZ uvedeno na trh do dne 13. srpna 2005 [6].

3. NAKLÁDÁNÍ S POUŽITÝMI ELEKTROZAŘÍZENÍMI

Technické inovace v oblasti výpočetní a telekomunikační techniky jsou natolik rychlé, že se ještě v nedávné době výkon procesorů těchto zařízení každé dva roky zdvojnásobil. To nutí profesionální uživatele k rychlé obměně počítačů i mobilních telefonů. Díky této poptávce se zvedá i nabídka a výrobci dnes produkují obrovské množství nové techniky a technologií. K jejich vysoké komplexnosti a složitosti se výrobcům nevyplatí poškozená zařízení individuálně opravovat, tudíž se z nich stává odpad, neboť je pro ně výhodnější vyrobit nový kus, který je obvykle dokonalejší [12].

Pokračování tohoto trendu vzbuzuje, vzhledem ke konečnému osudu vysloužilých elektrozařízení, obavy z hlediska ochrany životního prostředí. Elektrozařízení jsou velmi bohatá na materiály, především železo a jeho slitiny, kovy jako například měď, cín, olovo, hliník, zlato, stříbro, paladium a další, které v životním prostředí mohou působit v určitých formách a koncentracích toxicky, některé i karcinogenně. Nicméně z pohledu zpětného využití těchto materiálů představují elektrozařízení, respektive elektroodpad velký potenciál jakožto zdroj druhotných surovin [12].

3.1. Zpětné využití elektrozařízení

V problematice elektroodpadu je, jako u ostatních druhů odpadu, prioritní předcházení jeho vzniku. Realizace může spočívat v modernizaci technologických postupů, omezení nadprodukce, recyklaci a zpětném získávání materiálů z elektrozařízení a jejich opakovaným použitím k výrobě nových kusů či sběrem již použitých, ale stále funkčních (opravitelných) elektrozařízení. V současnosti má velký potenciál tzv. projekt Re-use, jehož ideou je snaha co nejvíce „prodloužit“ životní cyklus jakéhokoliv produktu.

3.1.1. Re-use

Re-use, v překladu „znovu použití“, je dnes definována jako činnost, kdy daný výrobek používáme opakovaně. V případě elektrozařízení mluvíme hlavně o malých elektro spotřebičích, mobilních telefonech, počítačích, noteboocích či televizích [16].

Projektem Re-use se po celém světě zabývají desítky až stovky neziskových organizací, jejichž cílem je prevence vzniku nadbytečného odpadu. Z nedávných analýz vyplývá, že z veškerého elektronického odpadu proudícího do recyklačních center má stále signifikantní hodnotu pro jeho opětovné použití alespoň 25 %, tzn. je výhodné tato elektrozařízení opravit. Takto opravená zařízení je možné dále prodat v bazarech. Problémem však zůstává nízký počet

středisek a sběrných dvorů, které by sbíraly a opravovaly použitá EEZ. Evropská unie a její nejnovější politická agenda „Waste Framework Directive“ uděluje členským státům EU povinnost zanalyzovat své možnosti v oblasti opětovného využívání EEZ nezávisle na recyklačních možnostech. V průběhu roku 2024 pak Evropská Komise vyhodnotí data a nastaví cíle pro jednotlivé státy s ohledem na jejich možnosti společně s přípravou na budoucí rozvoj Re-use center [17].

Vzhledem k faktu, že projekt Re-use pravděpodobně nebude v budoucnu výdělečným odvětvím, ale bude se jednat hlavně o neziskovou společenskou činnost pomáhající redukovat množství odpadu, hlavním investorem pro stavbu a provoz re-use středisek a re-use pointů bude samotný stát, popřípadě crowdfounding. S rostoucím počtem re-use center a re-use pointů se vytvoří významné množství nových pracovních míst a vzdělávací možnosti v oblasti re-use a opravářského sektoru [17].

3.1.2. Re-use centra a re-use pointy

Re-use centra jsou místa, kde je možné za menší poplatek nebo i zadarmo pořídit nejrůznější věci, v našem případě hlavně spotřební elektroniku. Jsou zřizována odpadovými společnostmi, které v téže oblasti sbírají a zpracovávají odpad. Ty spolupracují s tamními obcemi a městskými částmi. Re-use pointy jsou prakticky menší sběrná stanoviště pro re-use centra. Jedná se o kontejnery nebo vymezená místa sběrných dvorů, kam lze použitá zařízení odkládat. Re-use centra mohou být spojena s okolními bazary a burzami, které mohou obsahovat dílny na opravu výrobků. Toto pomyslné propojení je ukázkovým příkladem tzv. cirkulární ekonomiky [16].

Použitá elektrozařízení přicházejí do re-use center z re-use pointů. Občané mohou svá použitá elektrozařízení zde odložit, a to bezplatně. Každé re-use centrum se specializuje na různé typy výrobků, proto se občan musí nejprve obeznámit s podmínkami odběru daného centra [16].

3.1.3. Model cirkulární ekonomiky

Myšlenka opětovného využívání již používaných EEZ a její realizace v podobě projektu Re-use je vzorovým příkladem tzv. cirkulární ekonomiky. V poslední dekádě vzrostla světová poptávka po komoditách na 1,5násobek množství, než je planeta schopna zajistit a obnovit udržitelným tempem. Podle dat Institutu cirkulární ekonomiky INCIEN vzroste populace v roce 2050 na 10 miliard, což poptávku po komoditách zvedne na 3násobek udržitelného množství. Jedním z důvodů této situace a predikcí je fakt, že většina materiálových toků má povahu

lineární. Kovy, ropa či dřevo jsou vytěženy a přeměněny na produkty, které jsou po ukončení své životnosti uloženy na skládku nebo jsou spáleny ve spalovnách odpadů. Dnešní snaha o neomezený hospodářský růst založený na lineární ekonomice v kombinaci s neudržitelným získáváním zdrojů, hlavně těch neobnovitelných, vede k negativním dopadům na životní prostředí, společnost a hospodářství [19].

Koncept cirkulární ekonomiky pracuje s hypotézou, že neexistuje odpad. Tento model nachází inspiraci v přírodních ekosystémech, kde jsou cykly organických živin dokonalé a funkční. Základní principy, kterými se řídí jsou: uzavírání toků materiálů ve funkčních a nekončících cyklech, čerpání energie z obnovitelných zdrojů a navrhování takových produktů a služeb, které nemají negativní dopady na životní prostředí a člověka, tzv. ekodesign [19].

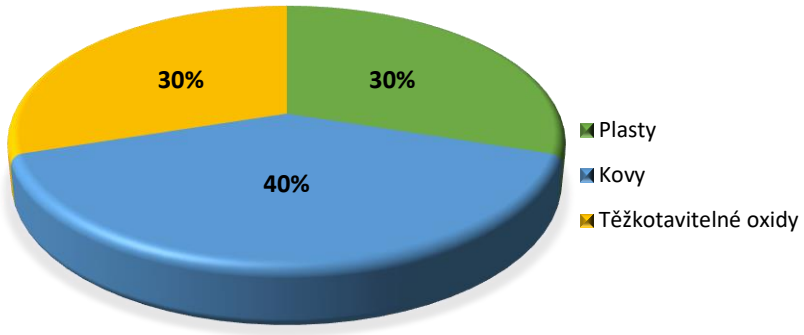
Obrázek 4: Ilustrační modely cirkulární a lineární ekonomiky

Zdroj: [19]

Cirkulární ekonomika na rozdíl od lineární ekonomiky odděluje hospodářský růst od potřeby těžit nové a vzácné materiály. Koncept je zaměřen na materiálové úspory, opětovné použití, opravu a změnu ekodesignu výrobku. Vlastnictví je zaměněno za pronájem a klade se důraz na maximální využití potenciálu výrobku. Aby tento koncept fungoval, je potřeba snížit daňovou zátěž opravených výrobků, spotřebitelé by měly mít přístup k informacím ohledně svého produktu (software, hardware, manuály) a výrobci by měly být motivováni k vývoji nových ekodesignů EEZ za účelem snadnější opravy či recyklace. Tzv. „Právo na opravu“ je od března 2021 povinou součástí výrobních linek v EU zejména praček, myček, ledniček a zařízení s elektronickými displeji [18].

3.2. Zpracování elektroodpadu

Navzdory rostoucímu vlivu re-use a budování nových středisek pro sběr, opravu a opětovné použití elektrozařízení nelze stoprocentně využít vše co člověk odloží nebo vyhodí. Ve chvíli, kdy výrobek neplní svoji funkci se z něho stává odpad, respektive elektroodpad, který je třeba zpracovat. Vzhledem k velkému sortimentu výrobků, které se po ukončení své životnosti řadí mezi OEEZ je jejich složení velice různorodé a bohaté na různé typy látek a prvků. Uvádí se, že okolo 40 % veškeré hmoty elektroodpadu připadá na kovy a jejich slitiny (Cu, Fe, Sn, Al, Au, Ag, Pd…), 30 % na těžkotavitelné oxidy kovů a 30 % na plasty (polymery C-H-O, polymery s obsahem dusíku). Z údajů z roku 2018, kdy se množství celosvětové produkce elektroodpadu odhadovalo na 48,5 Mt je zřejmé, že tato elektrozařízení obsahují významné množství i vzácných kovů. To samé však platí o nebezpečných látkách jako jsou PCB, PBB, PBT, těžké kovy a další organické a anorganické látky [12].

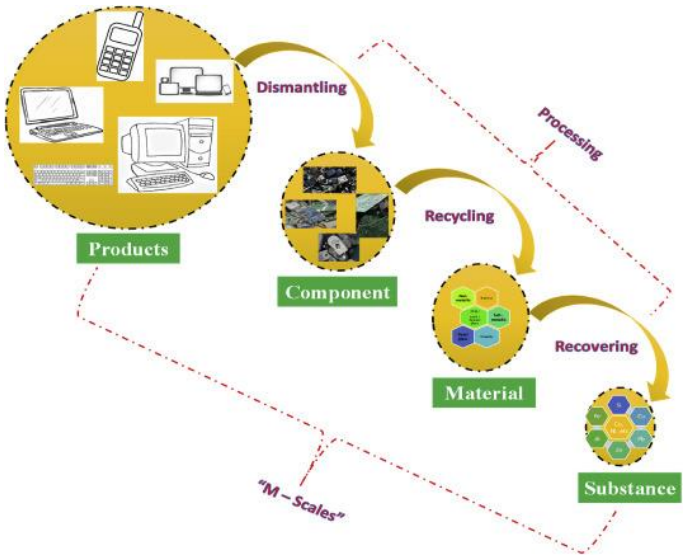


Obrázek 5: Složení elektroodpadu

Zdroj: [13]

Materiálové zhodnocení, kdy se posuzuje hodnota elektroodpadu je zvláště důležité pro odhadnutí ekonomického přínosu recyklace. Zpracovatel elektroodpadu rovněž musí zhodnotit a vybrat nejlepší možné způsoby zpracování vzhledem k nejlepším dostupným technikám (BAT) [13].

Při zpracování elektroodpadu se pracuje s tzv. třemi stupni zpracování elektroodpadu. K tomu, aby bylo při zpracování elektroodpadu využito co největší procentuální část elektrozařízení se jeho zpracování řídí tzv. M-stupni. Princip M-stupňů spočívá v rozdělení odpadního elektrozařízení na makroskopické úrovni (produkt a komponenty), mezoskopické úrovni (materiál) a mikroskopické úrovni (chemické látky, substance) [9].



Obrázek 6: Tři stupně zpracování elektroodpadu

Zdroj: [9]

3.2.1. Sběr a demontáž

Sběr a svoz OEEZ dnes provádí odpadové společnosti, které zřizují sběrné dvory, re-use pointy a sběrné kontejnery. Spotřebitel zde může odložit nepotřebná a poškozená elektrozařízení bezplatně. Pro OEEZ je zřízen tzv. oddělený sběr, který zabraňuje míšení elektroodpadu s jinými druhy odpadu jako je například komunální odpad, plasty a papír. Oddělený sběr je tedy předpokladem pro zajištění separace elektroodpadu od komunálního a dalších druhů odpadu, ochrany lidského zdraví a životního prostředí. Financování odběrových míst zajišťují ekonomické instituce (státy, města, obce, hospodářské společnosti) a uplatňují se zásady odpovědnosti výrobců, kteří na sběr a následné zpracování mají povinnost ze zákona rovněž přispívat [12].

Demontáž elektrozařízení se provádí jako předřazený proces separaci kovových a nekovových frakcí. Jejím účelem je minimalizovat množství komponentů obsahující nebezpečné látky, jako jsou baterie a kondenzátory obsahující polychlorované bifenyly, rtuť a další, v hlavním recyklačním procesu, společně se získáváním opětovně použitelných komponent, jako jsou desky s tištěnými spoji nebo televizní obrazovky obsahující luminofor. Rozlišujeme dva typy demontáže, selektivní a simultánní, přičemž oba typy mohou probíhat v režimu manuálním, poloautomatickém a automatickém. Při selektivní demontáži se zaměřujeme na komponenty, které jsou pro nás stěžejní a jejich získání nejvíce přínosné. Mezi ně patří obrazovky z monitorů, televizí a kontakty obsahující ušlechtilé kovy. V případě simultánní demontáže podrobujeme celý výrobek, respektive jeho komponenty vyšším teplotám a získané materiály jsou odpájeny

a identifikovány podle tvaru a velikosti. Oba způsoby mají svá positiva i negativa, například u simultánní demontáže hrozí poškození komponent během zahřívání, nehledě na potřebu dodatečných zařízení pro ohřev. To vše prodlužuje čas procesu a zvyšuje ekonomickou náročnost [9], [13].

3.2.2. Recyklace

Cílem recyklace je snížit environmentální zatížení a zacházet s nynějšími nerostnými zdroji efektivněji. Pro budoucí snížení uhlíkové stopy a intenzity těžby nerostných surovin je esenciální získat v co největším množství kovy z OEEZ. Nelze však opomenout ekonomickou a technologickou náročnost těchto procesů. Díky těmto aspektům se recyklace setkává ve vyspělých státech s negativním ohlasem z důvodu vysokých mzdových nákladů a přísných ekologických protokolů. Řešení můžou poskytnout rozvojové státy, z kterých je nejvýznamnější Indie. Zpracování a recyklace OEEZ pro ně představuje vítaný zdroj příjmů, nová pracovní místa a obecně impulz pro akceleraci průmyslového a ekonomického růstu [11].

Proces recyklace spočívá v dělení demontovaných komponentů na menší frakce, které jsou separovány pomocí mechanických metod. Celý průběh recyklace můžeme rozdělit do tří kroků: **drcení/mletí**, **prosévání** (separace nekovových částí) a **fyzikální separace** [9].

Komponenty jsou vloženy do drtiče (většinou dvojitého), kde jsou rozdrceny na částice o velikosti do 5 cm. Ty vede dopravníkový pás do mlýnu na mletí za účelem snížení velikosti částic na 1 cm až 1 mm. Pro zajištění takto malých frakcí může být sériově zapojeno více drtičů a mlýnů různých velikostí a typů za sebou v závislosti na požadované kapacitě, hrubosti frakce a množství zpracovaného šrotu za jednotku času (obvykle za 1 hodinu) [10], [13].

Směs rozdrceného materiálu (kovy, plasty, sklo) a prachu je dále prosévána, tak se oddělí od sebe frakce o různé velikosti částic. Polétavý a jemný prach (PM_{10} a $PM_{2,5}$) je zachytáván v odlučovačích, nejběžnější jsou suché vírové odlučovače (cyklóny). Vlivem odstředivé síly, rozdílné hustoty a velikosti částic (kritický průměr) jsou prachové částice zachytávány a vedeny do prachového kolektoru, zbylé fáze jsou spodní výpustí vedeny k další separaci [9].

Kolekce šrotu, plastu a skla se od sebe separuje způsoby, které využívají přirozené fyzikální vlastnosti jako je hustota, teplota tání, hydrofilnost, hydrofobnost, magnetismus, velikost částic a jejich tvar. Mezi nejpoužívanější typy separátorů patří: gravitační separátory, magnetické separátory, elektrostatické separátory a pěnová flotace [9], [13].

Předřazeným procesem fyzikálních separací může být vyfukování vzduchem, kdy je směs pomocí vzduchových trysek a laserových senzorů zbavena organického materiálu, gumy nebo plastů. Laserové senzory skenují dopravníkový pás a pokud je světelný odraz shodný s například světelnou propustností dřeva či plastu, nebo naopak se neshoduje s propustností určitých kovů, je tato částice následně vyfouknuta vzduchovou tryskou z dopravníkového pásu a zachycena [12].

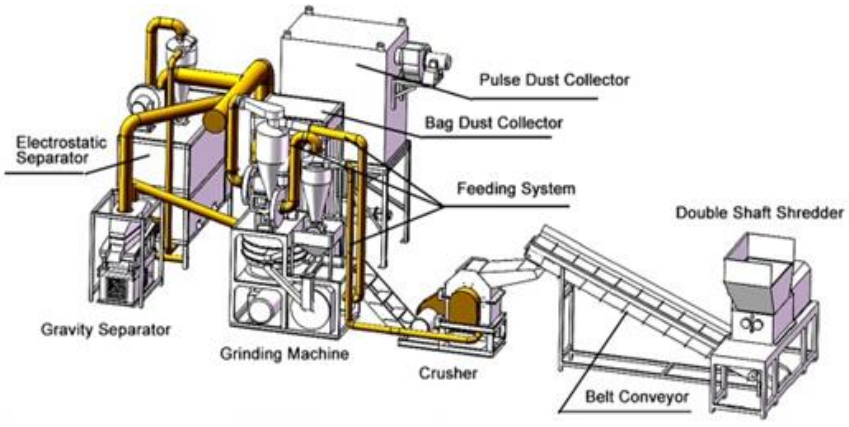
Gravitační separátory pracují na principu rozdílných hustot a rychlosti sedimentace látek vyskytujících se ve směsi. Směs je přivedena do nádoby, která je naplněna tzv. separačním médiem, obvykle se jedná o vodu či vzduch. V nich dochází k vlastní sedimentaci. Pomocí různých těžkých kapalin jako je tetrabromethan (TBE) lze kovy oddělit od plastů nebo keramiky vhodně uspořádanými záchytovými místy v separátoru. V souvislosti s TBE však nesmíme zapomínat na jeho nebezpečnost, a tedy nutnost přítomnosti opatření omezující průnik polyhalogenovaných organických sloučenin do životního prostředí. Další možností využití gravitace, měrné hmotnosti a velikosti částic jsou vibrační separátory, velmi podobné klasickému prosévání. Tento typ je vhodný pro separace neželezných (barevných) kovů od feromagnetických kovů, nejčastěji hliníku a jeho slitin. Směs částic o velikosti přibližně 2 mm se smíchá s pískem a sype se na vibrační síto do kterého je zespodu vháněn vzduch. Směs přivedená do vznosu je separována na kovy podle specifické hmotnosti [12], [20].

Magnetické separátory využívají feromagnetické vlastnosti některých kovů. Separují se feromagnetické kovy čili kovy, které v elektromagnetickém poli vykazují spontánní magnetizaci a stávají se tzv. feromagnety. Pomocí elektromagnetických polí vytvořených stejnosměrným proudem je možné odloučit kovy jako je železo a nikl například od mědi, zinku a hliníku. Vlastní třídění probíhá v bubnových odlučovačích s nízkou intenzitou elektromagnetického pole. Magnetické kovy jsou z vrchu přitaženy a unášeny po obvodu bubnu, dokud není přitažlivá síla natolik malá, že odpadnou do zásobníku. Nemagnetické frakce se oddělí před magnetickým bubnem, kdy místo přitažení k bubnu jsou soustřeďovány v přepadu. Indukcí permanentních magnetů tvořené slitinami kovů vzácných zemin můžeme zvýšit účinnost celého procesu. Nevýhodou magnetické separace je riziko aglomerace částic neželezných kovů a jiného odpadu (plast, sklo, oxidy kovů) do shluků feromagnetických kovů, díky čemuž nedojde k dokonalé separaci obou frakcí a účinnost procesu se snižuje [9], [12], [20].

Elektrostatické odlučovače separují materiály na základě rozdílné elektrické vodivosti (nebo elektrického odporu). Rozlišujeme tři elektro separační techniky založené na elektrické vodivosti: korónová elektrostatická separace, triboelektrická separace, a separace vířivými proudy. Schopnost elektrostaticky separovat různé materiály závisí na rozdílu v polaritě a množství získaného náboje separovanými částicemi. Pro oddělování částic s velkým rozdílem elektrické vodivosti se využívá indukční nebo korónové nabíjení, kdežto k oddělení částic s velmi malými rozdíly vodivosti je vhodné triboelektrické nebo kontaktní nabíjení. Princip separace vířivými proudy spočívá ve vytváření takových magnetických polí, jejichž magnetické vychylovací síly působí na feromagnetické částice větší silou než ostatní síly (gravitační, odstředivá a třecí). Díky přirozenému magnetismu železných kovů budou tyto částice magnetickými vychylovacími silami ovlivněny ve vyšší míře než kovy neželezné či plasty. Elektrostatická separace se používá zejména pro zachytávání plastových částic z tištěných spojů obsahující různé kovy [20].

Pěnová flotace je proces pro zpracování velmi jemných frakcí zejména neželezných kovů a polymerů o velikosti částic okolo 74 μm, jež byly vytvořeny v prvotním kroku recyklace, drcení a mletí. Pěnová flotace využívá rozdílnou smáčivost materiálů k separaci hydrofilních a hydrofobních látek. Nádoba naplněná vodou je probublávána vzduchem. Hydrofilní částice v nádobě začnou sedimentovat a hydrofobní ulpívají na vzduchových bublinách, které stoupají na hladinu. Tam tvoří shluky bublin zvané pěna. Pro zvýšení účinnosti flotace lze do systému přidat flotační činidlo, které ovlivňuje smáčivost [9], [20], [21].

Na obrázku je schematicky znázorněna menší průmyslová recyklační jednotka elektro šrotu.



Obrázek 7: Schéma průmyslové recyklační jednotky

Zdroj: [10]

3.2.3. Látkový recovering

Integrované obvody a tištěné spoje z EEZ jako jsou mobily, počítače, a další obsahují značné množství vzácných kovů mezi které patří zlato, stříbro, paladium, platina či měď. Po fyzikální separaci se směs sestává z různých druhů kovů, jejich slitin a oxidů. Běžnými mechanickými metodami není možné jednotlivé kovy a slitiny od sebe selektivně oddělit, proto přichází na řadu extrakce kovů neboli rafinace. Při rafinaci jsou extrahovány finální produkty celého procesu zpracování elektroodpadu a zbaveny nežádoucích nečistot [13].

Možnosti zpětného získání jednotlivých kovů lze rozdělit na metody: pyrometalurgické, hydrometalurgické a elektrochemické.

Pyrometalurgické procesy jsou hojně využívány při separaci kovů od zbytkových organických látek. Je to velmi energeticky náročný a nákladný proces, jenž pracuje na principu rozdílných teplot tání složek elektro šrotu. Selektivní získávání jednotlivých druhů kovů touto metodou je velmi těžce proveditelné a v praxi spíše získáváme taveniny směsí různých kovů. Mezi pyrometalurgické techniky patří pyrolýza, spékání, struskování, tavení v plazmové obloukové peci, vysoké peci, tavírně mědi či vysokoteplotní pražení v přítomnosti selektivních plynů, což se využívá k získání zejména neželezných kovů. Hlavní výhodou pyrometalurgických metod je schopnost zpracovat elektroodpad v jakékoliv formě, tzn. velikost, tvar částic a jeho složení obecně. V jistých případech lze použít pyrometalurgii jako separační metodu, neboť vysoké teploty v peci zajistí spálení veškerých organických nečistot, včetně zbylých částic plastů. Nevýhodou je však ekologická nešetrnost, tvorba velkého množství strusky s obsahem těžkých kovů a potíže s regenerací hliníku, železa a dalších kovů, proto musí být vhodnost pyrometalurgického procesu posouzena v závislosti na složení směsi elektro šrotu a finálním meziproduktu, který chceme získat [20].

Hydrometalurgické procesy jsou selektivnější povahy než pyrometalurgické. Metoda spočívá v loužení směsi kovů vhodným vyluhovacím činidlem, kdy se zaměřujeme hlavně na získávání ušlechtilých kovů (zlato, stříbro, platina a další). Je levnější, snadněji kontrolovatelná skrz chemické reakce a vzniká méně nebezpečných látek než při pyrometalurgii. Vzniklý výluh je rafinován pomocí různých metod, tlakovou redukcí, cementací, elektrolýzou výluhu, chemickým srážením, krystalizací, destilačním srážením a další. Mezi nejběžnější vyluhovací činidla patří: kyanidy, halogenidy, thiomočovina a thiosíran [13].

Loužení pomocí kyanidů je velmi levná metoda získávání vzácných kovů ze směsi. Loužení probíhá reakcí elementárního zlata či stříbra s alkalickým kyanidem (sodný, draselný). Vzniká

soluce, z které je kov následně získán chemickým sražením, elektrolýzou výluhu nebo tlakovou redukcí. Mechanismus separace zlata s použitím kyanidů vypadá takto:

$$4\,Au + 8\,CN^- \rightarrow 4\,Au(CN)_2^- + 4e^-$$

Ačkoliv je kyanidové loužení levný způsob získávání vzácných kovů z elektroodpadu, nesmíme zapomínat na velkou toxicitu kyanidů, jak pro člověka, tak životní prostředí [9].

Halogenidové loužení zahrnuje loužení chloridovými, bromidovými a jodidovými anionty, komerčně je však využíván výhradně první zmíněný. Bromidy jsou pro tyto účely velice riskantní kvůli vysoké toxicitě tvořeného bromu. Jodidy poskytují rychlé loužení, dobrou selektivitu, nízkou toxicitu a jejich prostřednictvím vznikají stabilní komplexy s kovy vzácných zemin. Nevýhodu představuje množství výchozích látek potřebných pro zvládnutí reakce, což snižuje ekonomickou efektivnost jodidového loužení. Princip chloridového loužení spočívá v reakci zlata se směsí kyseliny chlorovodíkové a kyseliny dusičné v poměru 3:1, známé jako lučavka královská. Vzniklá kyselina tetrachlorzlatitá je tvořena ligandy $[Au(Cl)_4]^-$, z kterých lze zlato získat například elektrochemickými metodami [9].

$$2\,Au + 11\,HCl + 3\,HNO_3 \rightarrow 2\,HAuCl_4 + 6\,H_2O$$

Pod hydrometalurgii spadá i **biohydrometalurgické zpracování** elektro šrotu. Jedná se o proces tzv. bakteriálního loužení, kdy jsou kovy rozpouštěny působením mikroorganismů. Bioloužení spočívá v biokatalytickém urychlování oxidačních procesů v důsledku působení slabých kyselin na kovy produkované mikroorganismy. Lze tak snadno izolovat z elektroodpadu významné kovy. Mikroorganismy, které se používají pro bioloužení můžeme rozdělit na: autotrofní, heterotrofní a mixotrofní organismy [22].

V posledních letech se tato metoda velmi osvědčila při získávání kovů z fragmentů tištěných spojů, vyskytující se například v počítačích. Biohydrometalurgie představuje alternativní cestu ke klasické hydrometalurgii a pyrometalurgii. Z ekonomického hlediska a hlediska spotřeby energie se jedná o ambiciózní nízkonákladovou metodu, jejichž dopady na životní prostředí jsou minimální [20].

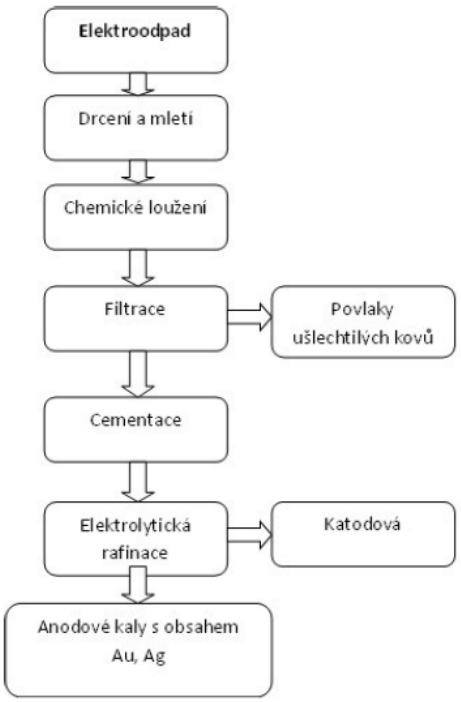
Elektrochemické zpracování elektroodpadu je technologie založená na principu elektrické vodivosti (a nevodivosti) materiálu. Elektrochemická separace nabízí účinný způsob regenerace kovů z OEEZ s nízkými náklady na energii a minimální použití chemikálií. Při elektrochemické reakci dochází k přenosu náboje přes rozhraní mezi elektrodou a elektrolytem, což je ukázáno následující rovnicí:

$$O + n\,e^{-} \leftrightarrow R$$

kde oxidačně-redukční pár znázorňují písmena „O“ (oxidized) a „R“ (reduced). Písmeno „n“ značí počet vyměněných elektronů při vlastní elektrochemické reakci [9].

V praxi se využívá jako proces následující po hydrometalurgii. Výluhy s obsahem kovů jsou elektrolyticky zpracovány s využitím oxidačně-redukčních procesů. Během elektrochemické redukce ionty kovu migrují při konstantním katodovém potenciálu směrem ke katodě, kde jsou redukovány a usazeny (elektrolytická rafinace katodová). Pokud chceme ionty kovu oxidovat jejich oxidovaná forma se bude usazovat na anodě (elektrolytická rafinace anodová) [9].

Níže je schématický příklad, jak by jednotlivé technologické procesy byly seřazeny za sebou.



Obrázek 8: Schéma postupu zpracování elektronických komponentů

Zdroj: [23]

3.2.4. Nakládání s nevyužitelným elektroodpadem

Při recyklaci a rafinaci součástí odpadních elektrozařízení vznikají stejně jako v jiných průmyslových odvětvích odpady, jež jsou těžce využitelné či je nelze nijak uplatnit. Jedná se zejména o odpadní kaly z elektrolytické rafinace a plastový odpad. Elektrolytické kaly jsou směsí vyluhovacího činidla (kyanidy, kyseliny, zásady a další), nečistot (saze, prach) a zbytků kovů (i těžkých), plasty zas mohou obsahovat halogenované uhlovodíky [15].

Vyluhovací činidla jsou značně drahá, a proto se člověk snaží o co největší regeneraci, ať už se jedná o kyselinu chlorovodíkovou, dusičnou, sírovou či roztoky alkalických kyanidů. Zbylý podíl je podroben spalování a pyrolýze. Spalování je charakterizováno přítomností kyslíku, odpad je tedy spalován v oxidační atmosféře. Na druhou stranu pyrolýza probíhá v atmosféře redukční (bez přístupu kyslíku). Oba postupy se v praxi vzájemně propojují, což se využívá u velké řady spaloven nebezpečného odpadu. Mezi zařízení pro spalování řadíme zařízení s pevným roštem, pohyblivým roštem a rotační pece. Na principu pyrolýzy pak pracuje tzv. plazmová pec [25].

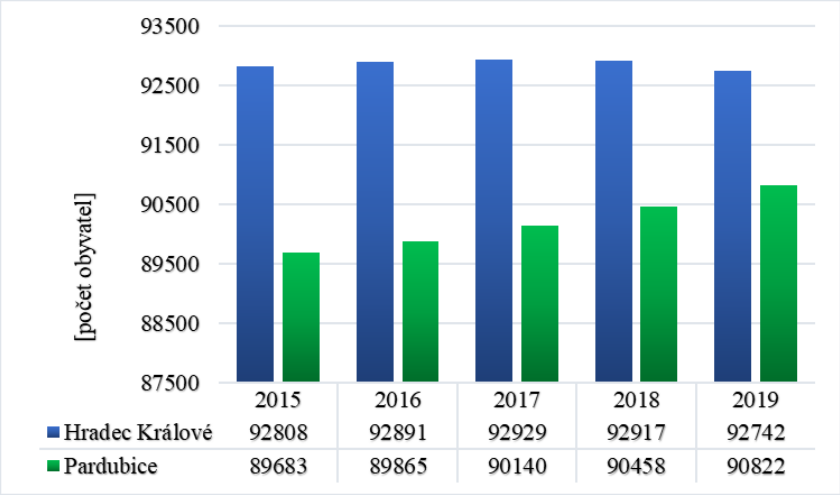
Tato technologie byla prioritně vyvinuta pro odstraňování vojenského odpadu a odpadních kosmických technologií, označující se jako nebezpečný odpad. V plazmovém reaktoru dochází při teplotě 5000 – 15000 °C k úplnému rozkladu organických a částečnému rozkladu anorganických sloučenin. Velmi užitečná je i skutečnost, že dioxiny, furany či PCB (polychlorované bifenyly) obsažené v plastech a komponentech EEZ jsou tímto procesem zcela rozloženy na konečné produkty spalování. Mezi typy plazmových reaktorů podle zdroje používané plazmy řadíme: CO_2 plazmu, argonovou plazmu, mikrovlnnou plazmu, dusíkovou plazmu a IRCF (Indukčně vázaná vysokofrekvenční plazma). Výhody plazmové technologie spočívá v možnosti takto spalovat pestrou paletu odpadů, možnost separace kovů od strusky v tekutém stavu, produkce malého objemu pyrolýzních plynů a obecně šetrnost technologie k životnímu prostředí. Nevýhodou je vysoká spotřeba elektrické energie a investiční náklady [14], [24].

Zbylý obsah spalovacího zařízení je stabilizován v neutralizačních stanicích a deponován na dobře zabezpečené skládky typu S-NO určené pro nebezpečný odpad. Stabilizace se provádí podle platného zákona o nakládání s nebezpečným odpadem. Nejběžnější postupy úpravy odpadů jsou biologická úprava (řízené působení biologicky aktivní složky na odpad) a fyzikálně-chemická úprava (odpařování, srážení, sušení, kalcinace, změna pH) [14].

4. POROVNÁNÍ NAKLÁDÁNÍ S ELEKTROODPADEM V HRADCI KRÁLOVÉ A PARDUBICÍCH

V rámci experimentální části bakalářské práce bylo vybráno porovnání systému nakládání s elektroodpadem ve dvou městech, Hradci Králové a Pardubicích. Obě města jsou statutárními městy a zároveň městy krajskými. Porovnání bude spočívat v analýze dat z let 2015 až 2019 poskytnuté Magistráty měst Hradce Králové a Pardubic. Součástí bude vývoj počtu obyvatel, celkové odpadní materiální toky vybraných druhů odpadu podle Katalogu odpadů, měrná produkce zpětně odebíraných elektrozařízení obou měst a další kritéria.

Mezi lety 2015 a 2019 se počet obyvatel Hradce Králové téměř nezměnil. Pardubická metropole se naopak rozrostla o přibližně 1 tisíc obyvatel na 90 822 obyvatel v roce 2019.



Obrázek 9: Vývoj počtu obyvatel obou měst

Zdroj: vlastní zpracování

Podle Katalogu odpadů z roku 2021 budou součástí analýzy tyto druhy odpadu.

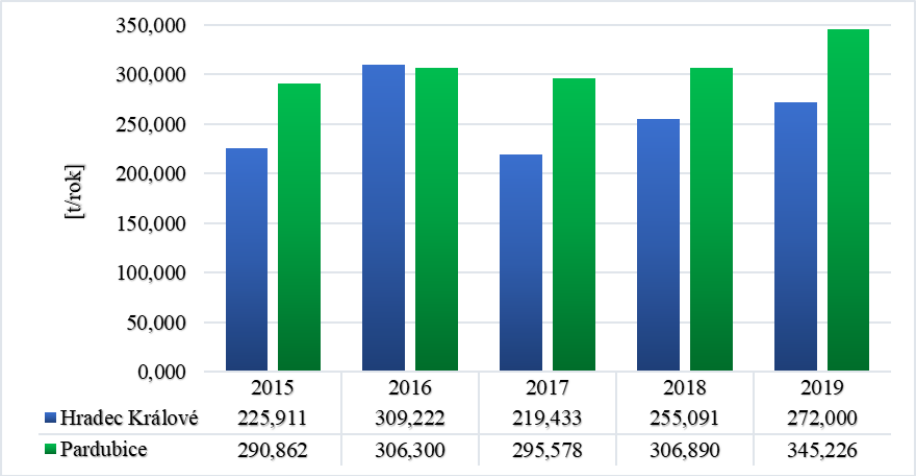
Tabulka 3: Vybrané druhy odpadů z Katalogu odpadů

Číslo	Popis
20 01 21	Zářivky a jiný odpad obsahující rtuť
20 01 23	Vyřazená zařízení obsahující chlorofuorouhlovodíky
20 01 33	Baterie a akumulátory
20 01 35	Vyřazené elektrické a elektronické zařízení obsahující nebezpečné látky
20 01 36	Vyřazené elektrické a elektronické zařízení neuvedené pod čísly 20 01 21, 20 01 23 a 20 01 35

Zdroj: [26]

4.1. Sběr elektroodpadu

Sběr a svoz odpadu zajišťují v Hradci Králové Hradecké služby a.s., v Pardubicích Služby města Pardubice a.s. Ty zprostředkovávají smluvní vztahy s kolektivními systémy zajišťující zpětný odběr a zpracování elektroodpadu. Mezi firmy spolupracující s oběma městy patří ASEKOL (počítače, drobné EEZ, televize, baterie), ELEKTROWIN (malé a velké elektrospotřebiče, lednice) a EKOLAMP (zářivky a výbojky). Z následujícího grafu a tabulky je zřejmé, že v posledních několika letech pozorujeme nárůst množství zpětně odebíraného OEEZ s katalogovým číslem 20 01 21, 20 01 23, 20 01 35 a 20 01 36, což je pozitivní znak pro obě metropole.



Obrázek 10: Zpětný odběr výrobků (ZPOV)

Zdroj: vlastní zpracování

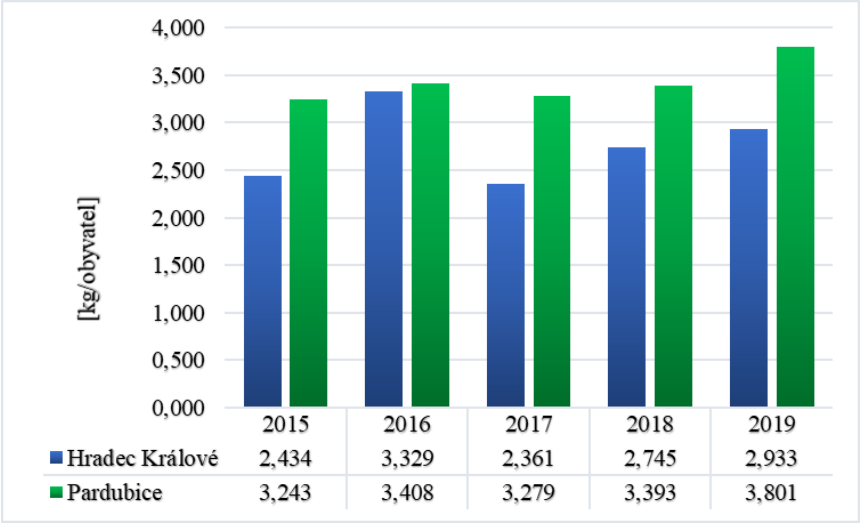
Každoročně se takto mimo režim odpadů dostane několik set tun zpětně sesbíraných OEEZ, které by jinak skončily jako nebezpečný odpad na sběrném dvoře. Je třeba podotknout, že v Pardubicích je všechen elektroodpad od roku 2015 v režimu zpětného odběru, tudíž roční odpadní materiálové toky jsou nulové. Na druhou stranu v Hradci Králové byla produkce odpadních elektrozařízení v režimu odpadu navýšena mezi lety 2016 a 2018 až o 7 tun. V tomto případě se jedná hlavně o rozbitá, nekompletní nebo rozmontovaná elektrozařízení.

Tabulka 4: Odpadní materiálové toky bez ZPOV (HK)

Produkce [t/rok]		
2016	**2017**	**2018**
0,520	2,941	7,525

Zdroj: vlastní zpracování

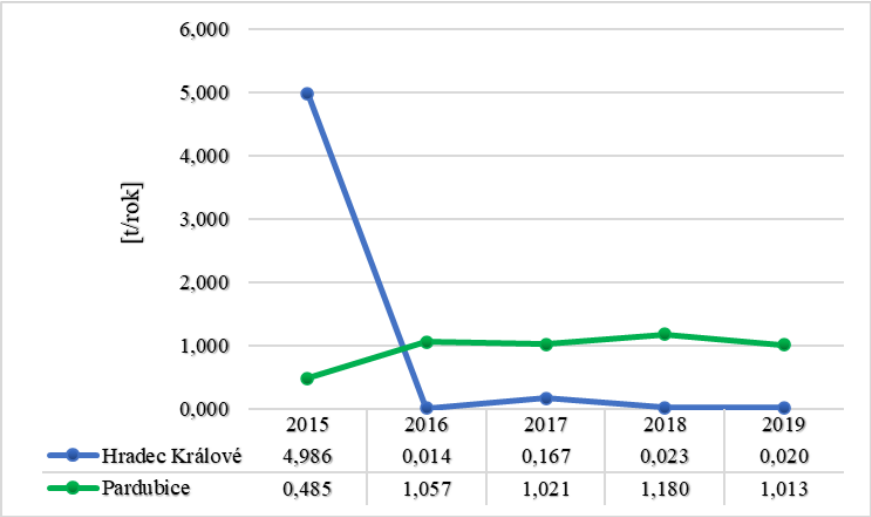
S ohledem na vyšší množství zpětně odebíraného OEEZ a nižší populaci Pardubic má krajské město Pardubického kraje měrnou produkci na velmi dobré úrovni v porovnání s Hradcem Králové, jenž mírně zaostává. V roce 2019 byla měrná produkce ZPOV Pardubic téměř na hodnotě 4 kilogramů na obyvatele, což je hodnota, kterou si Magistrát Města Hradec Králové vytyčil jako minimální cíl v následujících několika letech. Z grafu je patrná větší efektivnost Pardubic jako celku z hlediska zpětného odběru elektrozařízení.



Obrázek 11: Měrná produkce ZPOV

Zdroj: vlastní zpracování

Baterie a akumulátory mohou občané jak Hradce, tak Pardubic odkládat do červených kontejnerů kolektivního systému ASEKOL umístěných na teritoriu obou měst v rámci zpětného odběru použitých výrobků, na sběrných dvorech nebo při mobilním svozu nebezpečných odpadů, které organizují Hradecké služby a.s. a Služby města Pardubice a.s. Komodita s katalogovým číslem 20 01 33 (baterie a akumulátory) nyní figuruje pouze v režimu zpětného odběru, mimo nakládání s odpady. Díky zpětnému odběru můžeme v následujícím grafu pozorovat snížení a postupné ustálení množství vyhozených baterií a akumulátorů.



Obrázek 12: Produkce odpadních baterií a akumulátorů

Zdroj: vlastní zpracování

4.2. Re-use centra a sběrná místa elektroodpadu

K dnešnímu dni jsou v Hradci Králové evidována dvě re-use centra, která jsou situovaná ve sběrných dvorech Na Brně, respektive Bratří Štefanů. V nabídce opět prodávaných výrobků však není elektroodpad, neboť jeho následný prodej je podmíněn revizí. Alternativu nabízí firma Marius Pedersen a.s. provozující bezplatný zpětný odběr EEZ ve vybraných sběrných dvorech Hradce Králové.

Pardubická metropole nespravuje žádné re-use centra či re-use pointy. Občané mohou svá elektrozařízení stejně jako v Hradci odevzdat ve vybraných sběrných dvorech, kde zpětný odběr zprostředkovává firma SMP odpady a.s.

Jak už bylo zmíněno výše, občané mohou EEZ vyhazovat i do speciálních kontejnerů kolektivního systému ASEKOL, kam lze odkládat elektroodpad. Hradec disponuje 76 těmito kontejnery, kdežto Pardubice 59 sběrnými místy. Do těchto červených kontejnerů patří veškerá drobná elektrozařízení z kanceláře i z domácnosti (s výjimkou zářivek a autobaterií) např. počítače a jejich příslušenství, tiskárny, kalkulačky, audiotechnika, telefony, ruční nářadí, domácí spotřebiče, baterie a akumulátory (ne však autobaterie) [27].

4.3. Zpracování elektroodpadu

Způsoby zpracování vysloužilých elektrozařízení, baterií a akumulátorů jsou podmíněny tzv. kódy R, D a N stanovené zákonem č. 541/2020 Sb. o odpadech. V našem případě se jedná pouze o kódy R. Odpady s katalogovým číslem 20 01 21, 20 01 23, 20 01 33, 20 01 35 a 20 01 36

spadají do skupiny R4, která zahrnuje recyklaci nebo zpětné získávání kovů a sloučenin kovů (R4a), přepracování kovu určeného pro recyklaci, který přestává být odpadem (R4b) a přípravu kovových dílů nebo kovových odpadů pro opětovné použití (R4c). Tyto úkony pro vybrané komodity mají na starosti kolektivní systémy ASEKOL, ELEKTROWIN a EKOLAMP v obou městech [7].

4.4. Vyhodnocení analýzy

Mezi lety 2015 a 2019 udělala obě města posun v zpětném odebírání a možnostech sběru OEEZ. Avšak Pardubice podle poskytnutých dat ve vztahu k počtu obyvatel zpětně odebírá a recykluje větší množství elektroodpadu než Hradec Králové. Důkaz přináší již popisovaný graf měrné produkce zpětně odebíraného elektroodpadu, který vypovídá o větší efektivnosti pardubické metropole. Pro nadcházející roky je pro zvýšení efektivnosti sběru elektroodpadu nutné zajistit větší vzdělanost a informovanost občanů v otázkách možností zpětného odběru elektrozařízení, baterií a akumulátorů a prevenci vzniku černých skládek v odlehlých částech měst. Obě města by také měla zřídit více re-use center ve vybraných sběrných dvorech s příslušnými službami pro revizi a opravu odložených elektrozařízení pro jejich opětovné použití.

ZÁVĚR

Kvalifikační práce na téma „Posuzování životního cyklu elektrozařízení“ byla sepsána s cílem popsat všechny důležité aspekty života elektrozařízení s bližším zaměřením na vzniklý elektroodpad a jeho zpětné využití.

K pochopení celého procesu je nezbytná jak znalost legislativy, tak praktických způsobů nakládání s odpadními elektrickými a elektronickými zařízeními. Mezi nejdůležitější legislativní dokumenty k této problematice patří Life cycle assesment (LCA) neboli Dokument posuzování životního cyklu, jenž popisuje celý život výrobku či služby tzv. „od kolébky až po hrob“.

Způsoby nakládání s elektroodpadem byly popsány s pomocí tuzemských i zahraničních zdrojů podle předem navržených kroků s cílem charakterizovat chronologicky jednotlivé etapy a technologie, jenž se zde uplatňují.

V práci byl kladen důraz zejména na popis vztahů mezi legislativou a používanými postupy při zpětném využívání odpadních elektrozařízení (demontáž, recyklace, látkový recovering). Bližší zaměření se taktéž týkalo zpětného odběru výrobků v rámci tzv. Projektu re-use, který si dává za cíl opětovně využívat již použitá elektrozařízení s cílem prodloužit jejich životní cyklus. Projekt re-use je ukázkovým příkladem snahy o vytvoření cirkulární ekonomiky, jenž představuje ideální stav ekonomicko-sociálního systému s ohledem na udržitelný rozvoj a ochranu životního prostředí.

K alespoň částečnému přiblížení celé problematiky zpětného odběru elektrozařízení, baterií a akumulátorů bylo do práce zakomponováno porovnání dvou měst, Hradce Králové a Pardubic. Na základě analýzy poskytnutých dat z let 2015 až 2019 Magistráty měst Hradce Králové a Pardubic bylo dosaženo závěru, že Pardubice, ačkoliv disponují méně sběrnými místy pro odkládání elektroodpadu a menším počtem obyvatel, jejich efektivnost zpětného odebírání elektroodpadu byla přibližně o 30 % větší v roce 2019 než v Hradci Králové.

K tomu, aby obě města zvýšila svoji měrnou produkci ZPOV je třeba zřídit nová sběrná místa pro OEEZ včetně nových re-use center, která budou vybavená pro odběr a opětovný prodej použitých elektrozařízení. Ke zlepšení situace může přispět také větší informovanost a vzdělanost občanů v otázkách prevence vzniku černých skládek a možností recyklace elektrozařízení za účelem snížení produkce elektroodpadu.

Lze konstatovat, že cíle práce byly splněny.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] NIARCHOS, Nicolas. The Dark Side of Congo's Cobalt Rush. *The New Yorker* [online]. New York: Condé Nast Publications, 2021 [cit. 2021-6-10]. Dostupné z: https://www.newyorker.com/magazine/2021/05/31/the-dark-side-of-congos-cobalt-rush

[2] ČSN EN ISO 14040. *Environmentální management – Posuzování životního cyklu: Zásady a osnova*. Praha: Česká technická norma, 2006.

[3] ČSN EN ISO 14044. *Environmentální management – Posuzování životního cyklu: Požadavky a směrnice*. Praha: Česká technická norma, 2006.

[4] 2012/19/EU. *Směrnice Evropského parlamentu a rady: O odpadních elektrických a elektronických zařízeních (OEEZ)*. Praha: Úřední věstník Evropské unie, 2012. Dostupné také z: https://www.ceho.cz/files/pdf/elektricka_elektronicka_zarizeni/elektroodpad_eu/smernice_32012l0019_cs_nove_oeez.pdf

[5] 2011/65/EU. *Směrnice Evropského parlamentu a rady: O omezení používání některých nebezpečných látek v elektrických a elektronických zařízení*. Praha: Úřední věstník Evropské unie, 2011. Dostupné také z: https://www.ceho.cz/files/pdf/elektricka_elektronicka_zarizeni/elektroodpad_eu/smernice_32011l0065_cs_nove_rohs.pdf

[6] ZÁKON Č. 542/2020 SB. *Zákon o výrobcích s ukončenou životností* [online]. Praha: Zákony pro lidi, 2011 [cit. 2021-04-01]. Dostupné také z: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2020-542

[7] ZÁKON Č. 541/2020 SB. *Zákon o odpadech* [online]. Praha: Zákony pro lidi, 2020 [cit. 2021-04-01]. Dostupné také z: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2020-541

[8] *Ekoznačky: Značka shody CE* [online]. České Budějovice: Rosa, 2021 [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: http://www.ekospotrebitel.cz/ekospotreba/ekoznaceni/ekoznacky/

[9] GOLLAKOTA R. K. Anjani, Sneha GAUTAM, Chi-Min SHU, *Inconsistencies of e-waste management in developing nations – Facts and plausible solutions*, Journal of Environmental Management, Volume 261, 2020, 110234, ISSN 0301-4797, Dostupné také z: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110234. (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479720301699)

[10] AHIRWAR Rajesh, Amit K. TRIPATHI, *E-waste management: A review of recycling process, environmental and occupational health hazards, and potential solutions,*

Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management, Volume 15, 2021, 100409, ISSN 2215-1532, Dostupné také z: https://doi.org/10.1016/j.enmm.2020.100409. (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215153220303925)

[11] ELDON R. Rene, Manivannan SETHURAJAN, Vinoth Kumar PONNUSAMY, Gopalakrishnan KUMAR, Thi Ngoc Bao DUNG, Kathirvel BRINDHADEVI, Arivalagan PUGAZHENDHI, *Electronic waste generation, recycling and resource recovery: Technological perspectives and trends, Journal of Hazardous Materials*, Volume 416, 2021, 125664, ISSN 0304-3894, Dostupné také z: https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125664. (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389421006282)

[12] KIZLINK, Juraj. *Nakládání s odpady*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2007. ISBN 978-80-214-3348-9.

[13] KRIŠTOFOVÁ, Dana. *Kovy a životní prostředí: environmentálně nebezpečné složky elektroodpadu*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2005. ISBN 80-248-0740-8.

[14] SLEZÁK, Miloslav. *Ekologické aspekty chemických technologií a technologie zpracování odpadů*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2004. ISBN 80-719-4692-3.

[15] DIRNER, Vojtěch. *Ochrana životního prostředí: základy, plánování, technologie, ekonomika, právo a management*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 1997. ISBN 80-707-8490-3.

[16] *RE-USE* [online]. Concept42, 2007 [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: https://www.trideniodpadu.cz/reuse

[17] *Re-use targets* [online]. Brussel: rreuse, 2019 [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: https://www.rreuse.org/reuse-targets/

[18] *Easy product repair* [online]. Brussel: rreuse, 2019 [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: https://www.rreuse.org/improving-product-design/

[19] *Cirkulární ekonomika* [online]. Praha: Institut Cirkulární Ekonomiky, 2018 [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: https://incien.org/cirkularni-ekonomika/

[20] MUAMMER Kaya, *Recovery of metals and nonmetals from electronic waste by physical and chemical recycling processes*, Waste Management, Volume 57, 2016, Pages 64-90, ISSN 0956-053X, Dostupné také z: https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.08.004. (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X16304299)

[21] BARTOVSKÁ, Lída a Marie ŠIŠKOVÁ. *Co je co v povrchové a koloidní chemii* [online]. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze: Vydavatelství VŠCHT Praha, 2005 [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: http://147.33.74.135/knihy/uid_es-001/hesla/flotace.html

[22] GRABOWSKÁ, Tereza. *Možnosti získání kovů z elektronického odpadu loužením* [online]. Vysoká škola Báňská-Technická univerzita Ostrava, 2013 [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: https://core.ac.uk/download/pdf/17304519.pdf.

[23] ZÁVADA, Jaroslav. *Chemické metody zpracování nerostných surovin a odpadů* [online]. Ostrava, 2018 [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: https://www.hgf.vsb.cz/export/sites/hgf/546/.content/galerie-souboru/Studijni-materialy/chemicke_metody.pdf. E-learningová podpora. Vysoká škola Báňská-Technická univerzita Ostrava.

[24] NEUWAHL, Frederik, Jorge Gómez BENAVIDES, Simon HOLBROOK a Serge ROUDIER. EVROPSKÁ KOMISE. *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Incineration* [online]. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2019 [cit. 2021-5-12]. ISBN 978-92-76-12993-6. Dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/prumysl/ippc-integrovana-prevence-a-omezovani-znecisteni/referencni-dokumenty-bref/2021/5/Waste-Incineration-_2019_.pdf

[25] *Identifikace technologií možných k podpoře ve specifickém cíli nakládání s nebezpečnými odpady*. Ministerstvo životního prostředí [online]. Praha: Operační program životní prostředí, 2015 [cit. 2021-6-3]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/projekty_po8_opzp_2007_2013/$FILE/OODP-3_3_MZP_FIN-20160810.pdf

[26] VYHLÁŠKA Č. 8/2021 SB. *Vyhláška o Katalogu odpadů a posuzování vlastností odpadů (Katalog odpadů)* [online]. Praha: Zákony pro lidi, 2021 [cit. 2021-6-16]. Dostupné také z: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2021-8/zneni-20210127

[27] *Hledat červený kontejner* [online]. Praha: Červené kontejnery, 2020 [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: https://www.cervenekontejnery.cz