

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

Přírodovědecká fakulta

Ústav pro životní prostředí



**KOLEKTIVNÍ SYSTÉM NAKLÁDÁNÍ S MOBILNÍMI
TELEFONY A JEHO DOPADY NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ**
**COLLECTION SCHEME OF MOBILE PHONES AND ITS
IMPACT ON ENVIRONMENT**

Diplomová práce

Autor: Bc. Markéta Švančarová

Vedoucí DP: doc. Ing. Vladimír Kočí, Ph.D.

Srpen 2016

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně s využitím uvedené literatury a informací, na něž odkazuji. Svoluji k jejímu zapůjčení s tím, že veškeré (i přejeté) informace budou řádně citovány. Rovněž prohlašuji, že předložená diplomová práce je totožná s elektronickou verzí vloženou do SIS.

V Praze dne 12.08 2016

Markéta Švančarová

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala svému školiteli doc. Vladimíru Kočímu, který mi poskytoval mnohé cenné rady a odborné konzultace. Dále bych ráda poděkovala kolektivnímu systému RETELA, s.r.o. za poskytnutí dat a za celkově velmi pozitivní spolupráci. Závěrem bych ráda poděkovala Michalovi, rodině a blízkým přátelům za podporu během celého studia.

OBSAH

| | |
|---|----|
| ABSTRAKT..... | 6 |
| SEZNAM ZKRATEK..... | 8 |
| DEFINICE A POJMY..... | 8 |
| 1. ÚVOD..... | 10 |
| 2. METODA LCA..... | 12 |
| 2.1. Posuzování životního cyklu..... | 12 |
| 2.2.1. První fáze - Definice cílů a rozsahu..... | 14 |
| 2.2.2. Druhá fáze - Inventarizace..... | 15 |
| 2.2.3. Třetí fáze – Hodnocení dopadů životního cyklu..... | 15 |
| 2.2.4. Čtvrtá fáze – Interpretace životního cyklu..... | 18 |
| 3. MOBILNÍ TELEFON JAKO ELEKTROODPAD..... | 19 |
| 3.1. Životní cyklus MT..... | 19 |
| 3.1.1. Těžba primárních surovin..... | 20 |
| 3.1.2. Zpracování materiálů..... | 20 |
| 3.1.3. Výroba produktu..... | 20 |
| 3.1.4. Fáze používání..... | 21 |
| 3.1.5. End Of Life (EoL)..... | 21 |
| 3.2. Složení mobilního telefonu..... | 21 |
| 3.2.1. Kryt mobilního telefonu..... | 24 |
| 3.2.2. Deska plošných spojů..... | 25 |
| 3.2.3. Baterie..... | 25 |
| 3.3. Konec životnosti mobilního telefonu..... | 26 |
| 3.3.1. Počet MT v České republice..... | 26 |
| 3.3.2. Mobilní telefony v domácnostech..... | 27 |
| 3.3.3. Recyklace MT..... | 29 |
| 3.3.4. Ekonomická stránka recyklace..... | 33 |
| 3.3.5. Skládkování a spalování..... | 34 |
| 3.4. Kolektivní systém nakládání s elektroodpadem..... | 36 |
| 3.4.1. Legislativa..... | 36 |
| 3.4.2. Činnost kolektivních systémů..... | 38 |
| 4. PROJEKT REMOBIL..... | 39 |

| | |
|---|----|
| 5. METODIKA | 40 |
| 5.1. Porovnání sběrných boxů | 40 |
| 5.1.1. Scénáře..... | 41 |
| 5.1.2. Hranice systému | 41 |
| 5.1.3. Metodologie LCIA a typy dopadů | 41 |
| 5.1.4. Typy a zdroje údajů | 42 |
| 5.1.5. Sběrné boxy | 42 |
| 5.2. Projekt Remobil | 49 |
| 5.2.1. Scénáře..... | 50 |
| 5.2.2. Metodologie LCIA a typy dopadů | 52 |
| 5.2.4. Sběr..... | 52 |
| 5.2.5. Finální zpracování..... | 56 |
| 6. VÝSLEDKY | 56 |
| 6.1. Sběrné boxy | 57 |
| 6.1.1. Scénář 1 | 57 |
| 6.1.2. Scénář 2 | 61 |
| 6.2. Projekt Remobil | 65 |
| 6.2.1. Scénář 1 | 65 |
| 6.2.2. Scénář 2 | 69 |
| 6.2.3. Scénář 3 | 71 |
| 6.3. Získání primárních surovin a porovnání s projektem Remobil | 74 |
| 6.4. Zlomový bod pro dopravu | 77 |
| 7. DISKUSE..... | 78 |
| 8. ZÁVĚR..... | 85 |
| 9. ZDROJE | 87 |
| 10. PŘÍLOHY..... | 96 |

ABSTRAKT

Problematika vzrůstajícího množství elektroodpadu je fenoménem dnešní doby. Počet mobilních telefonů po skončení životnosti rapidně stoupá, avšak recykluje se pouze malé množství telefonů. V diplomové práci jsou posuzovány dopady na životní prostředí projektu Remobil týkajícího se sběru telefonů, které následně předává k recyklaci.

Dopady projektu jsou hodnoceny pomocí metody LCA. Analýza životního cyklu je významnou metodou posuzování produktu, která je součástí rozhodování na mezinárodní, národní i lokální úrovni, v rámci státní správy i v soukromém sektoru. Poskytuje tak komplexní výstupy, které lze mezi sebou porovnávat.

Modelování dopadů projektu Remobil přineslo celou řadu výsledků. Při porovnání sběrných nádob bylo zjištěno, že nejmenší dopad na sledované kategorie dopadu způsobuje polypropylénový box, zatímco nerezový box způsobuje dopad největší. Největší vliv na životní prostředí způsobuje v rámci celého projektu doprava, která je vlivem pilotní fáze projektu nadměrná. Významným faktem je také vyšší míra vynaloženého úsilí na sběr kilogramu malého elektroodpadu, jako je mobilní telefon, v porovnání s úsilím při sběru velkého elektroodpadu jako jsou pračky aj. Projekt Remobil a recyklace sekundárních surovin má mnohem menší dopad na posuzované kategorie dopadu oproti dopadu získání primárních surovin, vyjma dvou kategorií: úbytek nerostných surovin a globální oteplování, které jsou ovlivňovány velikostí dopravy. Z těchto výstupů byl určen zlomový bod pro dopravu, který doporučuje snížit dopravu alespoň o 1/5.

Klíčová slova: LCA analýza, kolektivní systém, sběr mobilních telefonů, recyklace elektroodpadu

ABSTRACT

The issue of the increasing amount of e-waste is a phenomenon of the 21st century. The amount of EoL mobile phones is growing rapidly but only a small amount is recycled. The thesis examines the environmental impacts of the Remobil project concerning the collection of phones that go to recycle.

The impacts of the project are evaluated by the LCA method. Life cycle assessment is an important method of assessing the product that is part of decision-making at the international, national and local level, within the government and private sectors. The method provides complex outputs that can be comparable to other results. Modelling the impacts of the Remobil project provided a number of results. The comparison of the collecting boxes showed that the least impact on the impact category was caused by polypropylene boxes while the stainless steel boxes caused the greatest impact. The biggest influence on impact categories within the project was caused by transport, which was quite excessive due to the pilot phase of the project. It is also important to note the higher level of effort required for the per-kilogram collection of small electrical and electronic equipment (EEE) waste, such as mobile phones, compared to the collection of large EEE waste, such as washing machines. The Remobil project and recycling of secondary raw materials caused much less impact on the assessed impact category compared to the impact of the mining and extraction of primary materials, except for two categories: abiotic depletion (material) and global warming potential, which are influenced by the extent of transport. According to results, the break-even point for transport was determined. The amount of transport kilometers is recommended to be reduced by at least 1/5.

Key words: LCA analysis, collection scheme, collection of mobile phones, recycling of WEEE

SEZNAM ZKRATEK

| | |
|-------------------|---|
| ABS | akrylonitrilbutadienstyren |
| ČSÚ | Český statistický úřad |
| EEZ, EEE | elektrická a elektronická zařízení, z anglického Electrical and Electronic Equipment |
| EoL | z anglického „End Of Life“, po skončení životnosti |
| EU | Evropská Unie |
| EUROSTAT | Statistický úřad Evropské Unie |
| HIPS | houževnatý polystyren |
| IT | Informační technologie |
| LCA | z anglického: Life Cycle Assessment, analýza životního cyklu |
| LCI | z anglického: Life Cycle Inventory, inventarizační analýza |
| LCIA | z anglického: Life Cycle Impact Assessment, hodnocení dopadů životního cyklu |
| MT | mobilní telefon |
| MŽP | Ministerstvo životní prostředí |
| N/A | nejsou dostupná data |
| OECD | Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj |
| OEEZ, WEEE | odpadní elektrické nebo elektronické zařízení, z anglického Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE), |
| PC | polykarbonát |
| PVC | polyvinylchlorid |

DEFINICE A POJMY

Elektrické a elektronické zařízení (EEZ) - dle Zákona o odpadech 185/2001 Sb. Oddílu 8 je EEZ definováno jako zařízení, jehož funkce závisí na elektrickém proudu nebo na elektromagnetickém poli nebo zařízení k výrobě, přenosu a měření elektrického proudu nebo elektromagnetického pole a které je určeno pro použití při napětí nepřesahujícím 1000 V

pro střídavý proud a 1500 V pro stejnosměrný proud (Zákon č. 185/2001 Sb.). Typickým příkladem EEZ je i mobilní telefon.

Elektroodpad - Odpadní elektrické nebo elektronické zařízení (OEEZ) neboli elektroodpad je Zákonem o odpadech definováno v oddílu § 37g v bodě „b) elektroodpadem - elektrozařízením, které se stalo odpadem, včetně komponentů, konstrukčních dílů a spotřebních dílů, které v tom okamžiku jsou součástí zařízení“.

Elektronická zařízení lze rozdělit na dvě skupiny, a to na malý (m-OEEZ, anglicky s-WEEE) a velký elektroodpad (v- OEEZ, anglicky l- WEEE). Mezi velká elektrozařízení velikostí a váhou patří např. lednice, pračky. Malá elektrozařízení jsou rozličnější. Řadí se zde také mj. kategorie „Zařízení informačních technologií a telekomunikační zařízení“ (např. mobilní telefony, kalkulačky) (Chancerel et al., 2009).

Zpětný odběr elektrozařízení - dle Zákona o odpadech 185/2001 Sb. Oddílu 8 definováno jako odebírání použitých elektrozařízení pocházejících z domácností od konečných uživatelů bez nároku na úplatu v místě zpětného odběru nebo v místě prodeje nebo dodávky nového elektrozařízení posledním prodejcem či v jeho bezprostřední blízkosti.

Oddělený sběr elektroodpadu - dle Zákona o odpadech 185/2001 Sb. Oddílu 8 definováno jako odebírání použitých elektrozařízení nepocházejících z domácností od konečných uživatelů v místě odděleného sběru.

End of Life (EoL) MT – termín znamenající mobilní telefon „po skončení životnosti“, který už není vhodný k použití a je určen pro demontáž a recyklaci

Zlomový bod pro dopravu – vypočtená hraniční hodnota počtu kilometrů, jejíž environmentální dopady jsou rovny dopadům způsobeným dalším schématem či scénářem, se kterým se systém porovnává

1. ÚVOD

Mobilní telefon je jednou z historicky největších zlomových a celosvětově využívaných technologií k osobní komunikaci (Maragos, Hahladakis a Gidaracos, 2013). Počet aktivně používaných telefonů po celém světě exponenciálně roste. Mezinárodní telekomunikační unie ve své poslední zprávě odhadovala více než 7 miliard aktivních telefonních SIM karet na světě, což je téměř stejné množství jako počet obyvatel na planetě. (Soo a Doolan 2014; International Telecommunication Union, 2016). Evropská Unie hodnotí vzrůstající míru elektroodpadu jako jeden z prioritních odpadních toků, který se v budoucnu stane pravděpodobně největší výzvou v oblasti nakládání s odpady (Crowe et al., 2003; Cui a Forssberg, 2003).

V České republice obměňuje každý uživatel mobilního telefonu toto zařízení průměrně po 2 - 5 letech, přičemž se předpokládá vznik téměř 30 miliónů vysloužilých telefonů do roku 2020. Avšak míra recyklace telefonů je doposud malá, v ČR a ve světě se pohybuje pod 10 % (Polák a Drápalová, 2012). Nejobtížnějším úkonem je dle Ministerstva životního prostředí samotné získání vyřazených elektrozařízení od jeho uživatelů (Ministerstvo životního prostředí, 2008).

Mobilní telefon v sobě skrývá celou řadu drahých, pro EU kriticky označených či toxických prvků. Jeho recyklace je důležitá jak z pohledu environmentálního, ekonomického, avšak i sociálního, neboť těžba primárních surovin s sebou nese mj. i celou řadu sociálních problémů (Valero Navazo, Villalba Méndez a Talens Peiró, 2013; Evropská komise, 2014; OECD Environment Directorate, 2010).

Diplomová práce hodnotí pomocí metody LCA pilotní fázi projektu Remobil, jehož cílem je sběr a recyklace mobilních telefonů. Projekt je organizován systémem zpětného odběru RETELA, s.r.o.

Cíle diplomové práce jsou:

- Určit dopad na životní prostředí projektu Remobil
- Určit sběrný box, který má nejmenší dopad na životní prostředí
- Určit fázi sběru, která má největší dopad na životní prostředí
- Určit zlomový bod pro dopravu, do kterého je projekt environmentálně přínosný
- Porovnat recyklaci kovů s primární těžbou surovin

2. METODA LCA

2.1. Posuzování životního cyklu

Posuzování životního cyklu (*Life cycle assessment* – dále jen LCA) je analytická metoda hodnotící dopady výrobků a služeb s ohledem na jejich celý životní cyklus na životní prostředí (neboli od kolébky do hrobu). Hodnocení celého životního cyklu zahrnuje dopady produktů od stádia získávání a výroby výchozích surovin či materiálů, výrobu produktu, dále fázi užití, stádium ukončení jeho životnosti, fázi odstranění, znovuvyužití či recyklaci materiálů. Analýza životního cyklu je interdisciplinární metoda, která propojuje environmentální, technologické, avšak i sociální a ekonomické hledisko vlivu lidské činnosti na životní prostředí. Koncepce posuzování výrobků vzhledem k celému životnímu cyklu se objevila již v 60. letech. Zájem o tuto metodu postupně stoupal a v 90. letech byla metoda v USA a v Evropě standardizována (Kočí, 2009).

Metoda LCA je v ČR standardizovaná normami:

- ČSN EN ISO 14040:2006 (01 0940) Environmentální management – Posuzování životního cyklu – Zásady a osnova
- ČSN EN ISO 14044:2006 (01 0944) Environmentální management – Posuzování životního cyklu – Požadavky a směrnice

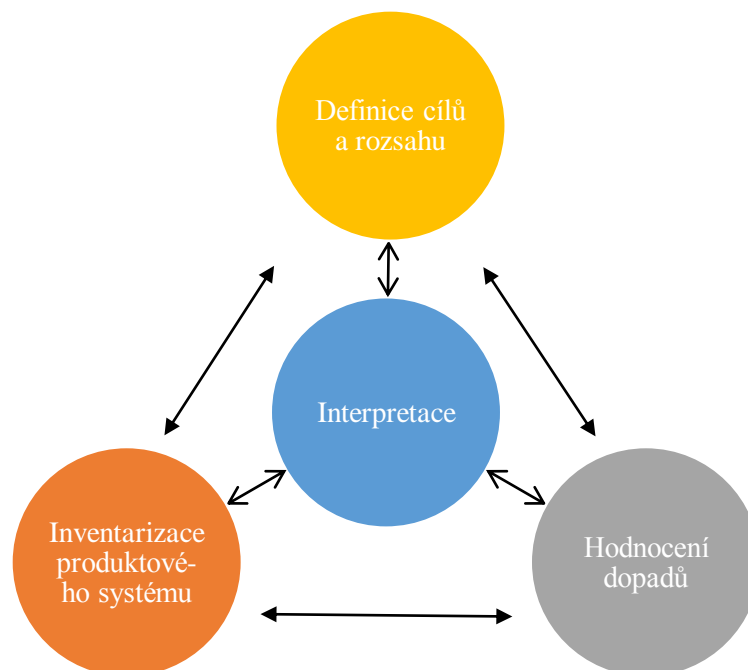
Využití metody LCA je široké. Výsledky LCA studií lze využít k posouzení životního cyklu výrobku, jeho jednotlivých fází, optimalizací procesů a fází s nejvyššími dopady na životní prostředí, internímu zlepšování výrobních procesů a postupů, dále jako nástroj pro porovnání dvou a více produktů, při designu nového produktu (tzv. ekodesign) a v neposlední řadě v oblasti marketingu při certifikaci produktů (tzv. ecolabelling) (Guinée, 2002; Kočí, 2009).

LCA zastává systémový pohled na životní cyklus produktu. Všechny jednotlivé procesy a operace zapojené do životního cyklu výrobku se jednotně nazývají *produktový systém*.

Metoda LCA posuzuje environmentální dopady materiálových a energetických toků, které produktový systém vyměňuje s okolním prostředím (odpadní látky do vody, půdy, emise aj.). Analýza životního cyklu sleduje holisticky problematiku interakce lidské společnosti a životního prostředí a může tak identifikovat přenášení problémů z místa na místo (Kočí, 2009). Hodnocení dopadů výrobku či služeb na životní prostředí je vyjádřeno pomocí tzv. kategorií dopadu. Kategorie dopadu je definovaný problém životního prostředí, na němž se lidská činnost podílí. Mezi nejčastěji používané kategorie dopadu patří např. úbytek neobnovitelných zdrojů (materiálových a energetických surovin), globální oteplování, acidifikace, eutrofizace, úbytek stratosférického ozónu, humánní toxicita, ekotoxicita sladkovodních ekosystémů a vznik fotooxidantů (Kočí, 2009).

2.2. Fáze analýzy životního cyklu (LCA)

Analýza životního cyklu výrobku má čtyři fáze, které jsou iteračně propojeny, navzájem se ovlivňují, přičemž výsledky jedné z fází mohou ovlivnit východiska fáze předchozí.



Obrázek 1 Fáze metody LCA

2.2.1. První fáze - Definice cílů a rozsahu

V první fázi je nutné jasně definovat cíl a rozsah studie, včetně důvodů pro provádění studie a předpokládané skupiny adresátů. Je potřeba produktový systém, kterého se studie týká, specifikovat a určit jeho klíčovou *funkci* (k čemu produkt pro náš účel slouží), ta určuje rozsah celé studie. Vzhledem ke klíčové funkci produktu budou následně posuzovány environmentální aspekty produktu.

Funkce daného produktu je určena pomocí *funkční jednotky*, pomocí které je funkce produktu matematicky kvantifikována a vstupy a výstupy normalizovány. Funkční jednotka určuje velikost funkce, kterou produktovému systému přisuzujeme, a je definovaná v měřitelných jednotkách.

Dále je potřeba definovat *referenční tok*, který kvantifikuje množství daného produktu určeného funkční jednotkou (kolik produktu bude potřeba pro splnění funkční jednotky).

Určení *hranic systému* je stěžejní pro definování rozsahu studie. Hranice systému určuje množství zahrnutých a nezahrnutých fází životního cyklu, jednotkových procesů, vstupů a výstupů v rámci studie. Zúžení hranic systému může ulehčit práci na studii, např. při porovnání více produktových systémů se můžeme zaměřit pouze na odlišné fáze jednotlivých produktů a hranice systémů zúžit. Každé rozhodnutí o nezohlednění určitých částí studie (fáze, procesu, vstupu či výstupu) musí být zdůvodněno. Dále je potřeba určit časový rozsah studie (např. ve formě životnosti výrobku) ke kterému bude produktový systém vztažen (Český normalizační institut, 2006; Kočí, 2009).

Významnou částí modelování produktového systému je tzv. *alokace*, ke které dochází v situacích, kdy jednotlivé procesy a toky jsou sdíleny více produkty. V tomto případě nastává potřeba alokace a vyčíslení rozdílných toků mezi jednotlivé procesy. Alokace může být

kalkulována na základě hmotnosti produktu, ceny či počtu výrobků (Český normalizační institut, 2006; Kočí, 2009).

2.2.2. Druhá fáze - Inventarizace

Druhá fáze se nazývá inventarizační analýza životního cyklu tzv. LCI (z ang. Life Cycle Inventory) zahrnuje zjišťování všech energetických a materiálových vstupů a výstupů v rámci produktového systému. V této fázi je stěžejní vyčíslit kvantitativní údaje o každém jednotkovém procesu. Pomocí softwarového programu se modeluje produktový systém, v tomto případě pomocí software GaBi 6 a Ecoinvent 3.2.

Důležité je uvést odkud pocházejí jednotlivá data použitá pro analýzu. Data mohou pocházet z několika zdrojů. Nejlépe je získat co nejpřesnější data např. z výroby konkrétního produktu, z ročních zpráv podniků. Software pro výpočet dopadů také obsahuje širokou škálu již namodelovaných komplexních procesů, které může uživatel využít beze změny anebo dle svých potřeb je pozměnit. Často se používají již namodelované obecné procesy např. výroby jednotlivých materiálů, výroba elektrické energie, čištění odpadních vod, přeprava.

Výsledkem inventarizace je tzv. *ekovektor* produktu, který je uváděn v tzv. inventarizačních tabulkách. Ekovektor produktu je soubor veškerých materiálových a energetických vstupů a výstupů procházejících skrz hranice systému. Ukazuje např. kolik emisí je vypuštěno do prostředí a jaké množství surovin je spotřebováno v produktovém systému. Avšak porovnávání ekovektorů dvou odlišných produktů není pro zjištění environmentálních dopadů dostačující (Český normalizační institut, 2006; Kočí, 2009).

2.2.3. Třetí fáze – Hodnocení dopadů životního cyklu

Po zjištění ekovektoru produktu je potřeba zhodnotit dopady životního cyklu produktu tzv. LCIA (z ang. Life cycle impact assessment) pomocí porovnatelných veličin.

První krokem je *klasifikace*, kdy dochází k přiřazování výstupů LCI k vybraným kategoriím dopadu. Je to např. přiřazení CO₂ ke kategorii dopadu globální oteplování. Některé elementární toky se pojí s více kategoriemi dopadu, např. NO_x, který je zároveň přiřazen k acidifikaci a k vzniku fotooxidantů (Český normalizační institut, 2006). Klasifikaci automaticky provádí zvolená metodika.

Následuje fáze *charakterizace*, kdy dochází k převedení jednotlivých elementárních toků, výstupů z inventarizace, na měřitelné veličiny - tzv. indikátory kategorie dopadu, které znázorňují míru ovlivnění určitého problému životního prostředí - tzv. *kategorie dopadu*. Kategorie dopadu je určitý problém životního prostředí, který lidská činnost způsobuje či rozvíjí. Každá kategorie dopadu je zapříčiněna určitou skupinou látek, např. globální oteplování je ovlivněno množstvím skleníkových plynů (Kočí, 2009).

Indikátor kategorie dopadu je měřitelná veličina s definovanými jednotkami, prostřednictvím které posuzujeme míru ovlivnění sledované kategorie lidskou činností. Indikátory jsou dvojího druhu: midpointové a endpointové. Midpointový indikátor kategorie dopadu hodnotí potenciální dopad škodlivých vlastností elementárních toků produktového systému v rámci jejich chemicko - fyzikálních a biologických vlastností. Midpointové indikátory využívají měřitelné vlastnosti elementárních toků a stojí tak na exaktních základech. Zatímco endpointový indikátor kategorie dopadu vyjadřuje měřitelný jev elementárních toků v prostředí způsobený přítomností látek v prostředí a vyjadřuje tak konečný projev dopadu na životní prostředí, který může být vyjádřen např. i ekonomicky. Jako midpointové indikátory lze uvést např. globální oteplování či humánní toxicitu, zatímco endpointové indikátory změny klimatu či lidské zdraví (Kočí, 2009).

Existuje několik tzv. metodik LCIA hodnotících environmentální dopady výstupů z inventarizace. V této práci je použita metodika CML – IA, která používá pro charakterizaci midpointové kategorie dopadu (Viz. Tab. 1). Míra ovlivnění určité kategorie je definovaná

v ekvivalentech referenční látky. Tato metodika se dnes používá prakticky ve většině studií LCA, neboť je dobře propracovaná a průběžně aktualizovaná (Kočí, 2009).

Tabulka 1 Popis kategorií dopadu metodiky CML - IA (Kočí, 2009)

| Kategorie dopadu | Jednotka výsledku indikátoru kategorie dopadu |
|---|--|
| Úbytek materiálových surovin (ADP elements) | [kg Sb·Equiv.] |
| Úbytek energetických surovin (ADP fossil) | [MJ] |
| Acidifikační potenciál (AP) | [kg SO ₂ ·Equiv.] |
| Eutrofizační potenciál (EP) | [kg Phosphate·Equiv.] |
| Globální oteplování (GWP 100 years) | [kg CO ₂ ·Equiv.] |
| Úbytek stratosférického ozónu (ODP) | [kg R11·Equiv.] |
| Vznik fotooxidantů (POCP) | [kg Ethene·Equiv.] |

Tabulka 2 Popis kategorií dopadu metodiky USEtox

| Kategorie dopadu | Jednotka výsledku indikátoru kategorie dopadu |
|--|--|
| Ekotoxicita sladkovodních ekosystémů | [CTUe] |
| Lidská toxicita – karcinogenní účinky | [CTUh] |
| Lidská toxicita – nekarinogenní účinky | [CTUh] |

Popis jednotlivých kategorií dopadu (Kočí, 2009)

- Úbytek surovin (materiálových, energetických) zahrnuje vliv na využívání obnovitelných a neobnovitelných surovin vlivem zkoumaného produktového systému. Dopad této kategorie je určen poměrem mezi rychlostí těžby dané suroviny k její zásobě. Referenční látkou u energeticky využívané suroviny je MJ, u surovin sloužících jako materiál pak antimon.
- Acidifikační potenciál je schopnost látky působit kyselé na prostředí. Referenční látkou je oxid siřičitý.
- Eutrofizační potenciál je schopnost látky podílet se na eutrofizaci vodního a půdního prostředí. Referenční látkou je fosforečnanový aniont.

- Kategorie dopadu globální oteplování vyjadřuje potenciál dané látky podílet se na emisích skleníkových plynů. Referenční látkou je oxid uhličitý.
- Úbytek stratosférického ozónu zahrnuje potenciál látek způsobovat rozklad stratosférického ozónu. Referenční látkou je CFC-11 (Trichlorofluorometan)
- Vznik fotooxidantů je kategorie dopadu, kterou ovlivňuje látka se schopností podílet se na vzniku fotooxidantů. Referenční látkou je ethen.
- Ekotoxicita sladkovodních ekosystémů je kategorie dopadu, kterou ovlivňuje látka s toxickými účinky na ekosystém. Diverzita toxických účinků je rozsáhlá. Referenční látkou je srovnávací toxická jednotka pro ekosystémy (CTUe).
- Lidská toxicita – karcinogenní, nekarcinogenní účinky – je kategorie dopadu, kterou ovlivňují látky působící toxicky na lidský organismus. Referenční jednotkou je CTUh (srovnávací toxická jednotka pro člověka).

Normalizace je jeden z dalších kroků, který má za cíl lépe pochopit relativní váhu dopadu každé kategorie dopadu. Výsledky kategorií dopadu poskytují výstupy udávané v odlišných jednotkách. Pro porovnání dvou a více produktových systémů a pro porovnání míry dopadů jednotlivých kategorií mezi sebou, je vhodné jednotlivé výsledky charakterizačního profilu převést na bezrozměrnou normalizovanou hodnotu. Tato hodnota udává relativní významnost, kterou určitá kategorie dopadů má v rámci celého systému. Výpočet normalizace se provádí pomocí referenčních informací, např. pomocí vstupů a výstupů v dané oblasti či celkových vstupů a výstupů v dané oblasti přepočtené na počet obyvatel (Český normalizační institut, 2006; Kočí, 2009).

2.2.4. Čtvrtá fáze – Interpretace životního cyklu

Poslední částí studie LCA se zabývá interpretací životního cyklu. V této fázi se hodnotí všechny získané výsledky, provedená rozhodnutí a přijaté předpoklady z hlediska jejich kvality a významu. Pozornost je věnovaná také hodnocení kvality úplnosti dat, na kterých analýza

závisí. Výstupem analýzy je velké množství dat, která se v rámci poslední fáze setřídí, analyzují a interpretují. Důležitým krokem je strukturalizace dat se zaměřením na nejvýznamnější procesy a materiály či látky. Na základě těchto dat provádí autor studie identifikace významných zjištění, která určují např. fázi s největším podílem emisí těžkých kovů. Autor následně hodnotí studii LCA a provádí kontrolu komplexnosti studie s cílem ověřit správnost výsledků. Při zjištění nekonzistentních dat či neplatnosti významných zjištění se autor analýzy vrací k předcházejícím částem analýzy, doplní chybějící data a opakuje předchozí kroky. Posledním výstupem studie je formulace závěrů, omezení a doporučení studie (Guinée, 2002; Kočí, 2009).

3. MOBILNÍ TELEFON JAKO ELEKTROODPAD

3.1. Životní cyklus MT

Telefony se začaly na trhu objevovat v 70. letech minulého století a zůstaly významným obchodním artiklem doposud (Ylä-mella, Pongrácz a Tanskanen, 2008; Suckling a Lee, 2015). Vzhled telefonů se časem měnil a jejich velikost a váha se postupně zmenšovala (Mobile Phone Working Group, 2012). V posledních 15-ti letech revoluce v informačních a komunikačních technologiích silně ovlivnila globální vývoj a mobilní telefon se stal finančně dostupný pro většinu lidí (International Telecommunication Union, 2016; Yu, Williams a Ju, 2010). Dnes jej používá většina populace jako multifunkční nástroj s celou řadou funkcí a nástrojů. Mobilní telefon slouží jako přehrávač hudby, kalendář, kalkulačka, hodinky, fotoaparát, v případě smartphonu jako internetový prohlížeč, emailová schránka, při instalaci aplikací jako svítlna, detektor kovů, čtečka knih, aj. (Maragos, Hahladakis a Gidaracos, 2013).

Životní cyklus MT má několik fází a je v mnohém podobným jiným elektrozařízením (Singhal, 2005). Následující kapitoly se věnují jednotlivým životním fázím telefonu.

3.1.1. Těžba primárních surovin

Životní cyklus MT začíná těžbou a získáváním primárních surovin, které jsou potřeba na jeho výrobu. Hlavními materiály nacházející se v MT jsou plasty, kovy, sklo a keramika (Mobile Phone Working Group, 2012). Ačkoliv drahé kovy představují velmi malou část ve složení telefonu, získávání těchto surovin představuje největší spotřebu energie, zejména jejich těžbou, rafinací rud a následným zpracováním (Singhal, 2005).

3.1.2. Zpracování materiálů

Tato fáze zahrnuje zpracování materiálů a výrobu jednotlivých dílů použitých v mobilním telefonu. Výroba dílů je náročná jednak spotřebou energie a použitými materiály a látkami, zejména pokud mají toxický či nebezpečný charakter. Důležitým krokem je v této fázi samotné navrhování výrobku - tzv. ekodesign, který klade důraz na začlenění environmentálních aspektů do návrhu výrobku s cílem dosáhnout minimálního dopadu výrobku na životní prostředí během jeho celého životního cyklu. Minimální požadavky na ekodesign různých výrobků již stanovila Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/125/ES (Evropský parlament a Rada, 2009). Design výrobku a volba materiálu výrazně ovlivňuje EoL fázi: možnost demontáže a následnou recyklaci. V případě nesprávného nakládání se zařízením po skončení životnosti, může materiálové složení výrobku výrazně ovlivnit i míru kontaminace životního prostředí. Spotřebu energie během této fáze odhaduje Singhal (2005) na přibližně 120 MJ.

3.1.3. Výroba produktu

Tato fáze zahrnuje montáž součástek, mechanických a elektromechanických komponentů, jejich zapojení do desky plošných spojů, umístění baterie, programování a testování telefonu.

Spotřeba energie ve fázi, kdy je telefon již složen do finální podoby, zahrnuje zejména provoz montážní linky a režijní náklady výrobního podniku (Singhal, 2005).

3.1.4. Fáze používání

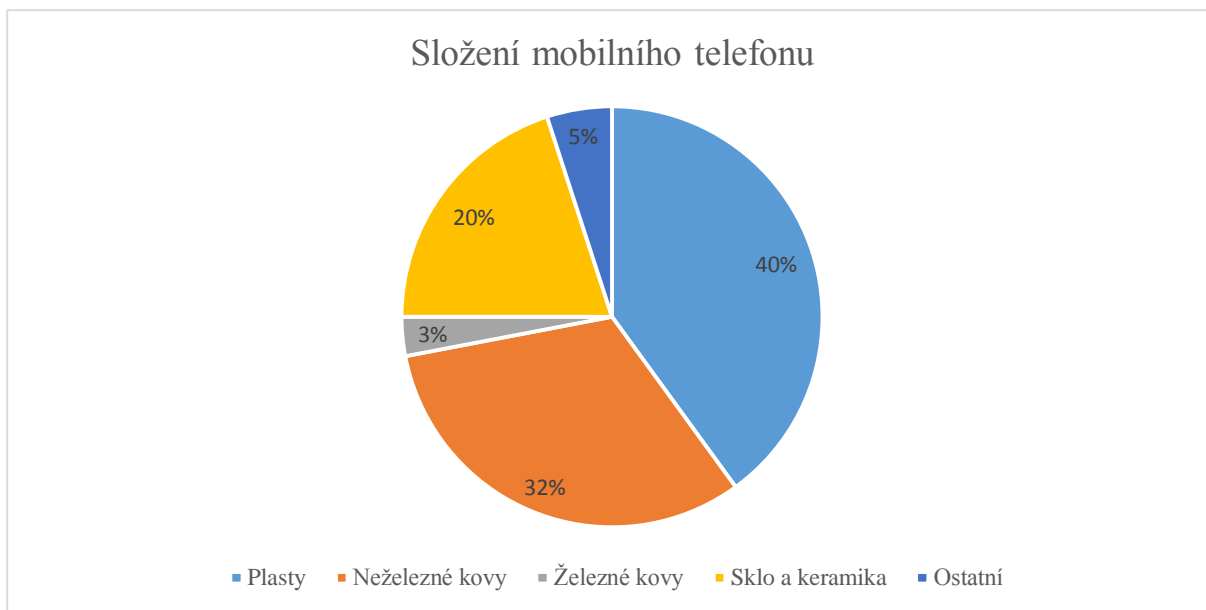
Během fáze užívání telefonu je největší dopad na životní prostředí způsoben spotřebou energie dobíjením baterie. Energetická spotřeba se odvíjí od uživatele a průměrně je odhadována na 32,4 MJ/rok (Singhal, 2005; Yu, Williams a Ju 2010).

3.1.5. End Of Life (EoL)

Poslední fáze životního cyklu telefonu zahrnuje finální nakládání s mobilním telefonem po skončení jeho životnosti. S telefony může být nakládáno několika způsoby. Telefon může být recyklován, skládkován či spálen a energeticky využit. Vlivem technologické revoluce, rychlého stárnutí technologií, změny módních trendů a nadvýroby mobilních telefonů dochází ke zkracování doby používání MT (Diouf, Pode a Osei, 2015).

3.2. Složení mobilního telefonu

Mobilní telefon je, co se struktury a materiálového složení týče, elektrozařízení s různorodým složením. Průměrný telefon má okolo 500 – 1000 součástek a váží okolo 100 g (Mobile Phone Working Group, 2012; Singhal, 2005). Lze označit dva hlavní typy mobilních telefonů, a to mobilní telefony klasické s klávesnicí a smartphony neboli telefony chytré. Chytré telefony se po svém nástupu na trh v roce 2005 staly vyhledávanými obchodními artikly oproti telefonům klasickým (Daponte et al., 2014).



Obrázek 2 Složení mobilního telefonu (Basel Convention, 2012)

Všechny telefony se skládají z několika základních komponent – z krytu, desky plošných spojů a baterie (dle typu a stáří může být: NiCd, NiMH, Li-Ion), v případě klasického telefonu dále klávesnice či antény (International Precious Metals Institute, 2003; Nnorom a Osibanjo, 2009). Obecně lze konstatovat, že největší materiálový podíl v MT zastávají plasty (40 %), dále neželezné kovy (32 %), sklo a keramika (20 %), železné kovy (3 %) a ostatní (5 %). Z kovů se na stavbě MT podílí nejvíce měď (10 %), nikl (10 %), kobalt (5 %), lithium (4 %), hliník (3 %), ocel (3 %) a cín (1 %) (Mobile Phone Working Group, 2012). Detailnější složení MT v Tab. 2.

Vlivem omezení použití nebezpečných látek v OEEZ, které mají vysoký potenciál kontaminovat životní prostředí, zakázala Směrnice o omezení používání některých nebezpečných látek v elektrických a elektronických zařízeních (RoHS) použití kadmia¹, olova, rtuti, šestimocného chromu a bromovaných zpomalovačů hoření (PBB, PBDE) v elektrozařízeních (Evropský parlament a Rada, 2003). Směrnice vstoupila v platnost v roce

¹ Obsah kadmia v produktu nesmí překročit 0,01 % jeho hmotnosti, u ostatních látek je hranice přípustného obsahu 0,1 % (Evropský parlament a Rada, 2003).

2006 a výrazně tak změnila obsah nebezpečných látek v mobilních telefonech (Maragkos, Hahladakis a Gidakos, 2013).

Tabulka 2 Materiálové složení mobilního telefonu (Basel Convention, 2012)

| Název materiálu | Umístění v MT | Průměrné % zastoupení v MT |
|--------------------------|---|----------------------------|
| Hlavní komponenty | | 1 % a více |
| Plasty | Kryt, deska plošných spojů | ~ 40 % |
| Sklo, keramika | LCD displej, čipy | ~ 20 % |
| Měď, sloučeniny | Deska plošných spojů (PWB), dráty, konektory, baterie | ~ 10 % |
| Nikl, sloučeniny | NiCd nebo NiMH baterie, PWB | ~ 2-10 % * |
| Hydroxid draslíku | NiCd nebo NiMH baterie | < 5 % * |
| Kobalt | Li-Ion baterie | 1 - 5 % * |
| Uhlík | Baterie | < 5 % |
| Hliník | Kryt, konstrukce, baterie | ~ 3 % ** |
| Ocel, železo | Kryt, konstrukce, nabíječka, baterie | ~ 10 % |
| Cín | Deska plošných spojů | ~ 1 % |

* pouze v případě, že je použita baterie, jinak *vedlejší či mikro* zastoupení

** v případě, že je hliník použit v krytu, zastoupení prvku bude větší, ~ 20 %

| Název materiálu | Umístění v MT | Průměrné % zastoupení v MT |
|----------------------------------|----------------------|---------------------------------|
| Vedlejší komponenty | | Obvykle mezi 0,1 % - 1 % |
| Brom | Deska plošných spojů | |
| Kadmium | NiCd baterie | |
| Chrom | Kryt, konstrukce | |
| Olovo | Deska plošných spojů | |
| Tekutý krystalový polymer | LCD displej | |
| Lithium | Li-Ion baterie | |
| Magnézium | Deska plošných spojů | |
| Stříbro | Deska plošných spojů | |
| Tantal | Deska plošných spojů | |
| Wolfram | Deska plošných spojů | |
| Zinek | Deska plošných spojů | |

| Název materiálu | Umístění v MT | Průměrné % zastoupení v MT |
|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Mikro / stopové prvky | | Obvykle < 0,1 % |
| Antimon | Kryt, deska plošných spojů | |
| Arsen | LED | |
| Baryum | Deska plošných spojů | |
| Beryllium | Konektory | |
| Bismut | Deska plošných spojů | |
| Vápník | Deska plošných spojů | |

| Název materiálu | Umístění v MT | Průměrné % zastoupení v MT |
|------------------|---------------------------------|--|
| Fluor | Li-Ion baterie | Pokud je Mg použito v krytu, jeho množství je ~ 20 % |
| Galium | LED | |
| Zlato | Konektory, deska plošných spojů | |
| Magnesium | Deska plošných spojů | |
| Palladium | Deska plošných spojů | |
| Ruthenium | Deska plošných spojů | |
| Stroncium | Deska plošných spojů | |
| Síra | Deska plošných spojů | |
| Yttrium | Deska plošných spojů | |
| Zirkonium | Deska plošných spojů | |

3.2.1. Kryt mobilního telefonu

Kryt mobilního telefonu slouží jako ochranná schránka pro celé zařízení. Skládá se většinou z plastů. Plastová frakce zahrnuje celou řadu různých polymerů, jako jsou polykarbonáty (PC), Akrylonitrilbutadienstyren (ABS), polyvinylchlorid (PVC), houževnatý polystyren (HIPS), aj. (Buekens a Yang, 2013). Podíl krytu na váze telefonu se různí, pohybuje se okolo 15 – 55 % váhy telefonu (Nnorom a Osibanjo, 2009).

Pro zlepšení vlastností materiálu se do plastových částí přidávaly a v některých případech stále přidávají různé příměsi kovů (chrom, kadmium, měď, brom, cín, antimon), které slouží jako UV stabilizátory, zpomalovače hoření, a barevné pigmenty (Maragkos, Hahladakis a Gidaracos, 2013). Plastová frakce telefonu je proto materiálově velmi heterogenní.

Kryt je nejnadhěji měnitelnou částí telefonu, kterou uživatelé pro docílení moderního a stále neotřelého vzhledu telefonu vyměňují (Nnorom a Osibanjo, 2009). Použité kryty jsou často vyhazovány do odpadu bez možnosti jejich recyklace a se ztrátou relativně velkého množství niklu, stříbra, zinku, kadmia a olova. Množstvím kovů v krytech mobilních telefonů se zabývaly Nnorom a Osibanjo (2009) a Maragkos et al. (2013). Pomocí výluhových testů určili množství těžkých kovů v plastovém krytu. Koncentrace kovů jsou v různých telefonech velmi odlišné. Dle Maragkose et al. (2013) je plastový kryt druhý v pořadí v obsahu těžkých

kovů v celém mobilním telefonu. Množství kovů v plastových krytech nepředstavuje výrazné riziko v případě, že je s nimi dobře nakládáno a jsou vhodně recyklovány či spalovány při správné teplotě (Nnorom a Osibanjo, 2009).

3.2.2. Deska plošných spojů

Deska plošných spojů se v elektronice používá pro propojení elektronických součástí MT. Desky plošných spojů EEZ obsahují přibližně z 28 - 40 % kovy, téměř z 60 - 70 % nekovové materiály jako jsou plasty a keramika a stojí za 15 - 43 % váhy MT (Sohaili, Muniyandi a Mohamad, 2012; Vats a Singh, 2015). Deska plošného spoje je nejdůležitějším komponentem telefonu jednak z hlediska ekonomického, neboť jsou v ní obsaženy drahé kovy (zlato, stříbro, platina) a také z hlediska environmentálního, protože obsahuje těžké kovy (rtuť, kadmium, beryllium, olovo, nikl, arsen a antimon) (Vats a Singh, 2015; Hagelueken et al., 2009). V desce plošných spojů se nacházejí vzácné kovy, jako je galium, indium, germanium, tantal, selen, aj. Dále měď, hliník, zinek, železo, cín, aj. (Mobile Phone Working Group, 2012; Khaliq et al., 2014).

V jedné tuně elektroodpadu z desek plošných spojů se pak nachází okolo 280 g zlata, 450 g stříbra, 93 g drahých kovů jako je platina a indium, 191 kg mědi, 145 kg hliníku a 31 kg slitiny olovo/cín (Chatterjee, 2012). V desce plošných spojů se nachází nejvyšší koncentrace těžkých kovů. Avšak dle Maragnose (et al., 2013) odpovídá jejich koncentrace limitům určeným Směrnici RoHS, s výjimkou telefonů vyrobených před rokem 2006, které zvýšené koncentrace olova, chromu a kadmia často obsahují.

3.2.3. Baterie

Baterie MT stojí za třetinou váhy telefonu. Používá se několik typů baterií: nikl-kadmiové (NiCd), nikl metal hydridové (NiMH) a lithiové (Li-ion/Li-Polymer). Dříve byly nejčastěji používány NiCd baterie, ale v důsledku restrikce kadmia se již tyto baterie nepoužívají

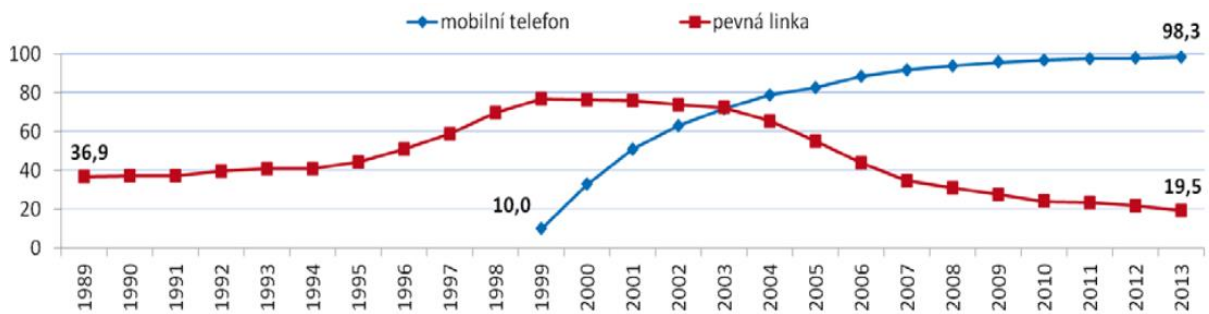
(Evropská rada, 2011). Avšak v elektrozařízeních vyrobených před rokem 2006 se tyto baterie mohou stále nacházet (Schluep et al., 2009).

3.3. Konec životnosti mobilního telefonu

Vlivem technologickému pokroku se každým rokem vyvíjejí a na trh dostávají nové mobilní telefony. Telefony se proto rychle stávají zastaralými a nemoderními, a ačkoliv jsou telefony stále použitelné, dochází k jejich relativně rychlé obměně (Welfens, Nordmann a Seibt, 2015). Nejčastějším důvodem uživatele pro výměnu telefonu je dle Yin et al. (2014) poškození zařízení (44 %) a zestárnutí telefonu z hlediska jeho funkcí a módního vzhledu (37,1 %).

3.3.1. Počet MT v České republice

V České republice sleduje Český statistický úřad počet MT v českých domácnostech od roku 1999, kdy postupně začaly nahrazovat pevnou telefonní linku. O nárůstu v používání mobilních telefonů v českých domácnostech svědčí fakt, že v roce 1999 vlastnilo mobilní telefon 7 % domácností, zatímco v roce 2013 vlastnilo alespoň jeden telefon 98 % domácností. Nicméně již lze pozorovat zmírnění v nárůstu počtu MT z důvodu nasycení trhu v České republice (ČSÚ, 2014), ale i ve vyspělých státech (Sawanishi et al., 2015). Zatímco v předchozích letech ovlivňovala vlastnictví MT kritéria, jako jsou např. sociální postavení osoby v rodině, věk či počet dětí, soudobě se jejich důležitost vytrácí a MT je dnes standardním výbavou (ČSÚ, 2014). Odhadu množství mobilních telefonů po skončení životnosti (EoL) v ČR se věnoval Polák a Drápalová (2012). Dle těchto autorů vzniklo v ČR v období od roku 1990 – 2000 na 45 tisíc EoL telefonů, v letech 2000 - 2010 na 6,5 miliónů, zatímco od roku 2010 do 2020 se předpokládá vznik 26,3 miliónů EoL telefonů.



Obrázek 3 Vybavenost českých domácností mobilním telefonem a pevnou linkou vyjádřeno v % (ČSÚ, 2014)

3.3.2. Mobilní telefony v domácnostech

Množství vzniklého elektroodpadu z MT statistiky nezaznamenávají. Dle odhadů Poláka a Drápalové (2012) je průměrná doba životnosti MT v České republice 3,63 let. Odhady délky životnosti telefonů se u dalších autorů a v jiných státech liší, v průměru je odhadnuta délka života MT kratší a to 2,5 roku. Pro srovnání např. v Číně byla odhadnuta životnost telefonů na méně než 3 roky (Yin, Gao a Xu, 2014), v dalších státech 2 - 3 roky (Mobile Phone Working Group, 2012; Singhal, 2005; Sawanishi, Torihara a Mishima, 2015).

Odhadu vzniku EoL MT v domácnostech v ČR se věnoval Polák (2014), který předpokládá, že v roce 2010 vzniklo na 2,26 miliónů EoL MT. Po skončení životnosti MT by se mohlo předpokládat, že jej spotřebitelé vhodí v ideálním případě do sběrné nádoby určené na elektroodpad či jej odstraní jiným způsobem, např. jej vhodí do komunálního odpadu. Faktem je, že malá elektrozařízení, která se rozměry a vahou vejdu do odpadního koše, spotřebitelé snáze vyhodí do běžného odpadu než elektrozařízení velká (Chancerel et al., 2009). V případě mobilního telefonu je však situace odlišná, protože si je spotřebitelé často nechávají doma „v šuplíku“ (Polák a Drápalová, 2012; Welfens, Nordmann a Seibt, 2015).

Dle Poláka a Drápalové (2012) je doba ponechání si nepotřebného telefonu v českých domácnostech odhadnuta na 4,35 let. „Úschova“ telefonu není pouze českou realitou,

nýbrž i celosvětovým problémem. Např. v zemích OECD² je 45 % MT (OECD Environment Directorate, 2010), v Číně pak okolo 47 % MT uschovaných v domácnostech (Yin, Gao a Xu, 2014), O tomto jevu vypovídá i míra sběru EoL mobilních telefonů určených pro recyklaci, která byla v roce 2010 v České republice pouze 3 – 6 % (Polák a Drápalová, 2012), v USA 10 % (Silveira a Chang, 2010), v zemích OECD³ pak 16 % (OECD Environment Directorate, 2010) a v Japonsku okolo 20 % (Sawanishi, Torihara a Mishima, 2015).

Důvodů nízké míry odevzdání MT k recyklaci může být několik. Jelikož je dnes telefon multifunkčním zařízením, využívají jej uživatelé při mnoha činnostech (focení, organizace času, zábava, aj.), personifikují si telefon a mohou si tak k němu vytvořit emoční vztah. Používáním telefonu pro různorodé účely se ukládají v telefonu citlivá data. Obava o jejich ztrátu může být překážkou pro zbavení se telefonu. Uživatelé si často nechávají v záloze starý telefon pro případ potřeby v případě, že se jim nový telefon pokazí (Welfens, Nordmann a Seibt, 2015). Dalším faktorem může být nevědomost uživatelů o možnosti a důležitosti recyklace. Dle Yin et al. (2014) téměř 46 % uživatelů nerecyklovalo telefon z důvodu nevědomosti, kde jej mohou odevzdat. Na 28 % uživatelů by dle autora raději telefon postoupilo dále v rodině či kamarádům, anebo jej odevzdali za finanční odměnu, která může také příznivě motivovat k recyklaci. Welfens et al. (2015) uvádí jako další klíčový faktor pro recyklaci telefonů environmentální povědomí uživatelů o problematice recyklace. Dle Yin et al. (2014) by míru odevzdání MT k recyklaci zlepšila aktivnější státní politika, existence vhodnější, lépe mířené legislativy a fungující systém zpětného odběru, který dle autora omezuje 33 % uživatelů k odevzdání telefonu.

Dle Welfense et al. (2015) téma recyklace elektroodpadu, konkrétně mobilních telefonů, nedosáhlo dostačující veřejné debaty. Povědomí spotřebitelů o environmentálních otázkách

² Data z výzkumů v Kanadě, Spojených Státech Amerických a Velké Británii.

³ Viz. Poznámka č. 2.

recyklace je stále velmi malé. Telefony uschované v domácnostech znamenají ztrátu důležitých materiálů a při nesprávné manipulaci jsou potenciálním zdrojem znečištění životního prostředí (Polák a Drápalová, 2012).

3.3.3. Recyklace MT

Produkce elektroodpadu z mobilních telefonů celosvětově roste a v posledních několika letech patří k nejrychleji se zvětšujícím odpadním tokům (Cui a Forssberg, 2003). Odpovědí Evropské unie na tento fakt je následující hierarchie nakládání s odpadem - prevence vzniku odpadu, opětovné použití, materiálové využití, energetické využití, spalování a skládkování. (Evropská komise, 2003).

Vhodné nakládání s EoL telefony a jejich recyklace je důležitá z několika důvodů. Mobilní telefony obsahují nebezpečné látky, které mohou mít vlivem špatného nakládání na skládkách či ve spalovnách neblahé konsekvence na životní prostředí a zdraví člověka, a mělo být s nimi nakládáno jako s nebezpečným odpadem (Valero Navazo, Villalba Méndez a Talens Peiró, 2013; Satayamanyu Yadav a Yadav, 2014; Maragkos, Hahladakis a Gidaracos, 2013).

Dalším z environmentálních benefitů recyklace je opětovné získání surovin, např. drahých kovů, a tím i udržitelnější spotřeba primárních surovin. Vlivem těžby primárních surovin dochází k významným environmentálním dopadům na okolní krajinu, její destrukci, kontaminaci vody, vzduchu a půdy vlivem úniků toxických látek. S extrakcí primárních surovin, zejména drahých kovů, je spojena také řada sociálních problémů, jako je např. nucené vystěhování lidí, konflikty o přístup k surovinám, zdravotní rizika spojená s prací v dolech aj. Důležité je také ekonomické hledisko znovuzískání některých surovin (Valero Navazo, Villalba Méndez a Talens Peiró, 2013). Recyklace důležitých surovin je významná i z politického hlediska. Faktem je, že nerostné bohatství je rozprostřeno nerovnoměrně a pouze pár států má absolutní kontrolu nad produkcí některých surovin. Dle OECD (2010) se v Číně nachází na 95 % nalezišť vzácných kovů, 84 % wolframu, 83 %

galia, 87 % antimonu a 60 % india. Spojené státy mají 81 % nalezišť beryllia. V Jihoafrické republice se nachází 77 % nalezišť platiny a 79 % rhodia. Zatímco v Chile se nachází 60 % nalezišť lithia a v Brazílii 90 % niobia.

Nerudné suroviny a kovy jsou klíčové nejen pro evropskou ekonomiku, ale také pro udržení vysoké kvality současného života vyspělé společnosti a jejího rozvoje. Evropská Unie se aktivně zabývá tímto tématem z důvodu rostoucího znepokojení nad zajištěním spolehlivého a udržitelného přístupu k některým surovinám. Evropská komise proto vytvořila dokument „Kritické suroviny pro EU“, ve kterém se zabývá kritickými nerudnými surovinami z hlediska ekonomické důležitosti ve vztahu k EU v kombinaci s vysokým rizikem přístupu k nim (pomocí indikátorů politické stability dané země, absence násilí, účinnosti správy země, aj.). Dokument v roce 2014 identifikoval 20 kritických surovin či skupin surovin, mezi které patří i většina nerudných surovin a kovů nacházející se v MT, jmenovitě jde o antimon, beryllium, chrom, kobalt, galium, indium, hořčík, kovy platinové skupiny a prvky vzácných zemin (Evropská komise, 2014; Coulomb et al., 2015).

Demontáž mobilního telefonu

Při manuální i mechanické recyklaci je telefon nejdříve ručně demontován a baterie je separována. Při výlučně mechanické demontáži postupují části telefonu do drtícího zařízení, kde jsou rozmělněny na malé části. Poté se nadrcený materiál roztřídí pomocí sít na různé velikosti. Následuje magnetická separace, kdy dochází k oddělení kovové a nekovové frakce. Další stupeň separace se provádí pomocí vířivých proudů, elektrické vodivosti materiálu, odlišné hustoty materiálu a dalších třídících technik (Cui a Forssberg, 2003; Hagelueken et al., 2009; Bachér et al., 2015). Při drcení telefonů se do značné míry poškozuje povrch desky plošných spojů, kde se nachází největší množství kovů. Při následné separaci dochází k významné ztrátě drahých kovů nacházející se v MT ve stopovém množství, které jsou rozmělněny do výstupních frakcí. Čím menší rozměry má nadrcený materiál,

tím dochází k větší ztrátě drahých kovů (Chancerel et al., 2009; Hagelueken et al., 2009). Dle Chancerel et al. (2009) se u mechanicky zpracovaných desek plošného spoje znovu získá o 62 % méně drahých kovů v porovnání s deskami mechanicky nezpracovanými. Na druhou stranu se mechanickým zpracováním MT získá více mědi, hořčíku, hliníku, železa, niklu, zinku. Tyto kovy mají však nižší ekonomickou hodnotu. Výsledná ekonomická výtěžnost drahých a vzácných kovů je vyšší u manuálního nakládání než u mechanického zpracování (Bachér et al., 2015).

Při manuální demontáži jsou jednotlivé části ručně rozebírány a dochází tak k šetrnějšímu nakládání s elektroodpadem. Drahé kovy jsou získány v lepší kvalitě a ve vyšší koncentraci (Bachér et al., 2015) Nicméně manuální demontáž je finančně náročnější, náklady mohou být až 2,7 krát vyšší (Šebo et al., 2012). V praxi se často používají oba typy demontáží dohromady, kdy dochází k manuální demontáži na hlavní frakce a posléze k mechanickému rozdrčení elektroodpadu.

Recyklace kovů

Tradičním procesem znovuzískání kovů je pyrometalurgický proces. V posledních letech byla pozornost přesunuta také na hydrometalurgický a biometalurgický proces (Cui a Zhang, 2008). Při pyrometalurgickém procesu je materiál taven při teplotě okolo 1500 °C. V takto vysokých teplotách jsou kovy relativně nestálé a sérií metalurgických reakcí je žádaný kov zachycen (Valero Navazo et al., 2013; Cui a Zhang, 2008). Hydrometalurgie, známá jako loužení, spočívá v selektivním rozpouštění kovů působením vodných roztoků z dané látky s cílem převedení kovu do roztoku. Posléze se kov či jeho chemické sloučeniny z roztoku vyloučí srážením či elektrolýzou. Obecně se pro znovuzískání kovů z elektroodpadu využívají oba procesy. Oba procesy se však odlišují. První z nich vyžaduje pokrokovou technologii a rozsáhlou infrastrukturu, proto je recyklace kovů v tomto případě proveditelná jen ve velkém měřítku. Na druhé straně hydrometalurgický proces je energeticky méně náročný a může být prováděn

v malém měřítku (Cui a Zhang, 2008; Brunori et al., 2015). Jelikož je proces recyklace kovů velmi podobný jako u extrakce primárních surovin, probíhá recyklace kovů z odpadu právě v místech primární produkce kovů, jako jsou např. kovohutě (Valero Navazo et al., 2013).

Recyklace plastů

Podíl plastů v porovnání s dalšími materiály v mobilním telefonu je největší, zastává přibližně 30 - 40 % objemu (Mobile Phone Working Group, 2012). Jak již bylo zmíněno, plastová frakce nacházející se v mobilním telefonu zahrnuje celou řadu polymerů (PC, ABS, PVC, HIPS, aj.) (Buekens a Yang, 2013). Pro zlepšení vlastností materiálu se do plastů přidávají aditiva obsahující příměsi kovů (např. Cd, Pb, Ni, Ag) a další látky, které zlepšují jeho vlastnosti (Nnorom a Osibanjo, 2009). Avšak heterogenita materiálů plastové frakce stěžuje možnosti a účinnosti recyklace. Studie UNEP (2013) proto považuje za velmi důležité změnit přístup zaměřený na recyklaci jednotlivých materiálů za komplexněji zaměřenou recyklaci celého produktu jako takového. Způsobů nakládání s plastovou frakcí je několik. Následující odstavec se bude věnovat nejznámějším z nich.

V případě manuální demontáže se jednotlivé části telefonu od sebe oddělí a jednotlivé fragmenty postoupí k další recyklaci, která vede k získání „čisté plastové frakce“. Nejdříve se plasty roztrídí dle jednotlivých typů, dále se odstraní neplastové části (např. keramika, guma), následuje čištění plastů (polyolefinové a styrenové čištění) a jejich regranulace (Hagelueken et al., 2009; Biddle, 2012). Tento krok, jenž je v rámci znovuzískání surovin nejefektivnější, avšak zároveň vlivem ruční demontáže finančně nejnákladnější (Hagelueken et al., 2009). Dalším možným způsobem nakládání s plastovou frakcí je formou mechanické demontáže. Plastová frakce je rozmělněna s dalšími částmi telefonu a nasekána na malé kousky. Tato směs plastů, kovů, skla a keramiky je následně pyrometalurgicky zpracována. Za vysokých teplot se organické těkavé látky pocházející z plastové frakce a gumy rozloží na plyny a kapaliny, které lze dále využít, přičemž anorganické

látky – kovy, sklo, aj. zůstávají nezměněny a lze je posléze znovu získat. Přínosem této metody je znovuzískání kovů, avšak se ztrátou plastové frakce, která je spálena a slouží jako palivo pro hutě (Hagelueken et al., 2009; Brunori et al., 2015; Caballero et al., 2015).

Opětovné použití či jiné využití EoL MT

Část vyhozených telefonů může být stále funkčních a opětovně použitých dalšími uživateli anebo využity za jiným účelem. EoL telefony se z vyspělých zemí často vozí do zemí rozvojových, kde se z nich část opraví, a na tamním trhu rozprodají. V horším případě jsou za nepříznivých podmínek získávány sekundární suroviny (Buekens a Yang, 2013). Na druhou stranu je ve vyspělých zemích snaha snížit vzrůstající množství elektroodpadu a najít pro jednotlivé recyklované části MT nové využití. Např. Zink et al. (2014) se zabýval znovuvyužitím EoL telefonu a to jako automobilový parkovací senzor. Dle výsledků LCA měl tento senzor nižší dopad na životní prostředí než originální parkovací senzor. Zajímavým faktem je, že dle výsledků zmiňované studie má menší dopad na životní prostředí znovuvyužití telefonu za novým účelem než jeho oprava a opětovné použití jako telekomunikační zařízení. Dle Sawanishi et al. (2015) je klíčová také recyklace malých součástek a jejich opětovné použití. Ve své studii se zabýval znovuvyužitím LCD displeje v digitální kameře či v přenosném informačním zařízení do muzeí a jiných institucí. Inovativním využitím Li-on baterií MT se zabýval Diouf et al. (2015), který navrhuje využití baterií z EoL MT, které jsou v době vyhození MT většinou v polovině svoji životnost. Autor navrhoval využití baterií jako nosiče energie získané z fotovoltaických panelů v místech s omezeným přístupem k elektřině (např. v rozvojových zemích).

3.3.4. Ekonomická stránka recyklace

Znovuzískání materiálů a jejich recyklace je důležitá nejen z environmentálního a sociálního hlediska, jak bylo popsáno výše, ale také z hlediska ekonomického. Ačkoliv vzácné kovy jsou zastoupeny v MT pouze 1 % hmotnosti telefonu, jejich hodnota je 70 - 80 % hodnoty

telefonu. Hodnota plastů, skla a jiných materiálů je z ekonomického hlediska zanedbatelná (Yu et al., 2010; Park a Fray, 2009; Valero Navazo et al., 2013). Nejdražším kovem v telefonu je zlato, které představuje 80 % celkové hodnoty, přičemž je v telefonu obsaženo v koncentraci jen asi 0,009 - 0,017 %, následuje palladium s 10 % hodnoty a stříbro se 7 % (Vats a Singh, 2015; Yu et al., 2010). O velké celosvětové spotřebě kovů na výrobu telekomunikačních zařízení (3.skupina dle Zákona o odpadech) svědčí i roční spotřeba: 267,3 t zlata a 7225 t stříbra (Street, 2016; Thomson Reuters, 2015).

3.3.5. Skládkování a spalování

Hierarchie nakládání s elektroodpadem považuje spalování a skládkování za poslední možnost nakládání s odpadem, které by se mělo předcházet (Evropský parlament a Rada, 2003). Zákon o odpadech (185/2001) ukládá povinnost držiteli elektrozařízení zbavit se jej pouze na místě tomu určeném (místě zpětného odběru, poslednímu prodejci, aj.). Avšak jak již bylo zmíněno, lidé si často telefony uschovávají nebo je vlivem nevědomosti vhodí do běžného komunálního odpadu končícího na skládkách či ve spalovnách (Welfens et al., 2015; Nnorom a Osibanjo, 2009; Yin et al., 2014).

Nedostatek spolehlivých informací mapujících tok elektroodpadu končící mimo oddělený sběr je limitující pro přesné určení dopadů na životní prostředí (Polák, 2015). Množství mobilních telefonů končících mimo oddělený sběr je možné pouze odhadovat pomocí různých metodik. Dle výzkumu Poláka (2014) bylo odhadnuto množství 226 tisíc MT (38 tun) končícího v komunálním odpadu v roce 2010, což znamená přibližně 10 % EoL telefonů. Autor dále odhaduje osud 192 tisíc MT (33 tun) na skládkách a 34 tisíc MT (6 tun) ve spalovnách. V porovnání např. s Čínou je situace obdobná, v komunálním odpadu končí okolo 6,8 % EoL MT (Yin et al., 2014).

Faktem je, že mobilní telefony končící mimo oddělený sběr představují riziko kontaminace životního prostředí. Testům toxicity mobilního telefonu simulující podmínky na skládce

a potenciální vyluhování kovů se věnoval Yadav et al. (2014). Testy prokázaly, že deska plošných spojů následovaná baterií obsahuje největší množství kovů, které jsou potenciálně vyluhovatelné a mohou tak způsobit škody na životním prostředí a zdraví člověka. V dalším výzkumu provedl Yadav a Yadav (2014) test vyluhování kovů pomocí sterilní vody⁴. Z plastových částí telefonu se uvolňovalo v největší míře olovo, které přesáhlo povolený limit⁵. Ve vysokých koncentracích se z desky plošných spojů uvolňoval nikl, chrom, zinek a olovo. Přičemž z baterií unikala pouze malá koncentrace kovů a z LCD displeje koncentrace neznatelná. Je tedy evidentní, že MT uložený na skládce znamená velké riziko znečištění půdy a vody, kterému by se mělo přecházet.

Spalování telefonů ve spalovnách určených pro komunální odpad je nebezpečné z mnoha důvodů. Vlivem hoření se látky obsažené v MT mohou transformovat a vzniknout nebezpečné látky, např. v případě spalování za nízkých teplot se z bromovaných zpomalovačů hoření obsažených v MT vytvářejí dioxiny, přičemž tento proces je katalyzován mědí (Cui a Zhang, 2008). Při nedokonalém spalování či tavení LCD panelů může docházet k uvolňování PAU (polyaromatických uhlovodíků), spolu s halogeny, dioxiny a furany (Hagelueken et al., 2009), přičemž řada polyaromátů má karcinogenní a mutagenní vlastnosti (Silveira et al., 2015; Li et al., 2009).

Avšak i snahy o znovuzískání kovů mohou mít negativní dopad na životní prostředí. V případě použití nekontrolovatelných nedokonalých postupů znovuzískání kovů, zejména v rozvojových zemích, jako je např. spalování jednotlivých částí telefonu v otevřeném prostoru při nízké teplotě či extrakce kovů pomocí silné kyseliny může dojít k znečištění půdy a vody a kumulaci těžkých kovů v prostředí (Luo et al., 2011). Dle Luo et al. (2011) neadekvátní nakládání s EoL mobilními telefony způsobuje výskyt vysokých koncentrací kovů v okolí. Bylo zjištěno,

⁴ Tzv. Milli Q voda

⁵ 5,0 mg/l (Viz. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2002/95/ES o omezení používání některých nebezpečných látek v elektrických a elektronických zařízeních)

že plodiny rostoucí v blízkosti místa s nedokonalým nakládáním s EoL MT obsahují vysokou koncentraci zejména kadmia a olova. Oba prvky jsou bioakumulativní a v lidském organismu se hromadí v ledvinách a plicích, v případě kadmia dále v kostech a játrech (Integrovaný registr znečištění, 2016).

Mobilní telefony končící v komunálním odpadu představují environmentální riziko pro životní prostředí vlivem potenciální kontaminací nebezpečnými látkami a zároveň ztráty důležitých surovin.

3.4. Kolektivní systém nakládání s elektroodpadem

3.4.1. Legislativa

Na území Evropské Unie vešlo v posledních letech v platnost mnoho legislativních opatření týkajících se nakládání s elektroodpadem, které byly posléze transponovány do příslušných zákonů členských států. V EU je problematika nakládání s elektrickými a elektronickými zařízeními a fungování systému zpětného odběru definována ve Směrnici Evropského parlamentu a Rady 2012/19/ES o odpadních elektrických a elektronických zařízeních (Ministerstvo životního prostředí, 2014). Tématem nakládání s elektroodpadem se v České republice zabývá zákon č. 185/2001 Sb. o odpadech, který zapracovává příslušné předpisy Evropské Unie a upravuje povinnosti výrobců, posledních prodejců, distributorů, zpracovatelů, pověřených zástupců a konečných uživatelů elektrických a elektronických zařízení.

Česká republika splnila i v roce 2014 požadavek Evropské Unie určený Směrnicí Evropského parlamentu a Rady 2012/19/EU o odpadních elektrických a elektronických zařízeních na minimální sběr elektrozařízení v množství 4 kg na obyvatele a průměrně došlo ke sběru 5,6 kg elektrozařízení na obyvatele za rok. Oproti roku 2013 došlo k nárůstu úrovně zpětného

odběru a odděleného sběru o 2,9 % (o 0,4 kg/obyvatele více) (Ministerstvo životního prostředí, 2016b). Avšak rostoucí míra vzniku elektroodpadu a potřeba jeho větší recyklace vedla Evropský parlament k dalším legislativním krokům. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2012/19/EU tak ukládá členským státům minimální roční úroveň sběru elektroodpadu. Od roku 2016 činí minimální úroveň sběru 45 % (vyjádřeno jako procentní podíl průměrné roční hmotnosti EEZ uvedených na trh v uvedeném členském státě v předchozích třech letech). V následujících letech se má podíl sběru zvyšovat, přičemž od roku 2019 činí minimální úroveň sběru buď 65 % průměrné minimální hmotnosti EEZ uvedeného na trh v předchozích 3 letech, anebo 85 % hmotnosti produkce OEEZ v daném státě (L197/38). České republice a dalším státům s nízkou mírou infrastruktury a spotřeby EEZ byla udělena výjimka nižší úrovně sběru. Do srpna 2016 musí docílit úroveň recyklace vyšší než 40 % (Ministerstvo životního prostředí, 2016b).

Od roku 2005⁶ byla rozšířena individuální odpovědnost výrobce či dovozce elektrického a elektronického zařízení zajistit nakládání s výrobky po ukončení jejich životnosti. Výrobce či dovozce mohou sami zajistit nakládání s vysloužilým elektroodpadem anebo mohou předat tuto odpovědnost sběru a zpracování OEEZ tzv. systémům kolektivního sběru EEZ a přispívat jim tzv. recyklačním příspěvkem. Tento příspěvek je finanční částka, kterou výrobce či jiná povinná osoba přispívá na nakládání s kusem či kilogramem elektrozařízení. Cílem tohoto legislativního opatření je motivovat výrobce a dovozce k navrhování a produkci výrobků obsahujících co nejméně škodlivých látek, produkty opětovně použitelné či snadno recyklovatelné (Ministerstvo životního prostředí, 2008).

Tyto povinnosti nově platí také pro zpracovatele, sběrná místa a poslední prodejce elektrického a elektronického zařízení. Elektrozařízení smí být předáno pouze na místo zpětného odběru,

⁶ Dle vyhlášky č. 352/2005 Sb.

poslednímu prodejci, nebo zpracovateli odpadních elektrozařízení (Ministerstvo životního prostředí, 2014).

Kolektivní systémy pro zpětný odběr elektroodpadu byly založeny za účelem plnění povinností výrobců v rámci zajištění a provozování povinností nakládání s elektrozařízeními. Zajišťují oddělený sběr, svoz, zpracování a recyklaci zařízení, dále pak informují veřejnost o problematice, vyhlašují různé a kampaně a snaží se o co nejefektivnější sběr elektrozařízení. Kolektivní systém je povinen zpracovat roční zprávu o plnění povinností za kalendářní rok, Ministerstvu životního prostředí, ve které shrnuje efektivitu zpětného odběru.

3.4.2. Činnost kolektivních systémů

V České republice v současné době (únor 2016) funguje 16 kolektivních systémů zpětného odběru. Každý má na starosti jednu či více skupin elektrozařízení rozdělených dle zákona (Ministerstvo životního prostředí, 2016b).

Skupiny elektrozařízení jsou dle Zákona o odpadech 185/2001 Sb.:

1. Velké domácí spotřebiče 2. Malé domácí spotřebiče 3. Zařízení informačních technologií a telekomunikační zařízení 4a. Spotřebitelská zařízení 4b. Solární panely 5. Osvětlovací zařízení 6. Elektrické a elektronické nástroje 7. Hračky, vybavení pro volný čas a sporty 8. Lékařské přístroje 9. Přístroje pro monitorování a kontrolu 10. Výdejní automaty. Přičemž souhlas s nakládáním se skupinou 3., kde se řadí mobilní telefony má 5 kolektivních systémů (Ministerstvo životního prostředí, 2016a).

Tabulka 3 Nakládání s OEEZ 3. skupiny (2014) (Ministerstvo životního prostředí, 2016b)

| Nakládání s OEEZ 3. skupiny (2014) | Jednotka[t] |
|------------------------------------|-------------|
| Vysbíráno celkem | 8813 |
| Uvedeno na trh | 43656 |
| Opětovně použito | 766 |
| Materiálově využito | 5649 |
| Energeticky využito | 343 |
| Odstraněno | 445 |

| Nakládání s OEEZ 3. skupiny (2014) | Jednotka[t] |
|---|--------------------|
| Zůstalo na skladu | 506 |
| Vyvezeno do zemí EU | 1506 |
| Vyvezeno mimo země EU | 128 |
| Jiné nakládání | 140 |

Kolektivní systém RETELA s.r.o. zpětně odebral na 763,42 t zařízení 3. skupiny. Úroveň zpětného odběru⁷ (42 %) byla nejvyšší v této kategorii v rámci všech kolektivních systémů (Ministerstvo životního prostředí, 2016b).

4. PROJEKT REMOBIL

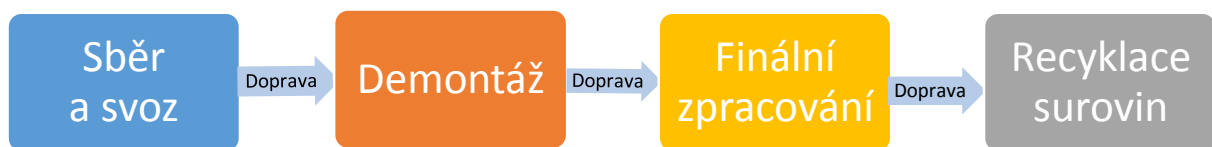
Projekt Remobil je neziskový projekt sběru použitých mobilních telefonů, který funguje jako jedna z činností kolektivního systému zpětného odběru RETELA s.r.o. Projekt má za cíl vysbírat 10 000 nepotřebných mobilních telefonů a zároveň přispět částkou 100 000 Kč na Jedličkův ústav v časovém rozmezí 1 roku (od září 2015 – září 2016).

Projekt je zejména zacílen na firmy, kde zaměstnance motivuje ke sběru nepotřebných, většinou v domácnosti uschovaných telefonů. Do projektu zainteresované firmy obdrží na dobu dvou – třech měsíců sběrný box, který je ve firmě umístěn na frekventované místo, a do něj mohou zaměstnanci vkládat nepotřebné telefony. Firma po ukončení sběru telefonů obdrží certifikát společensky odpovědné firmy. Po uplynutí smluvené doby se sběrný box s telefony svezde zpátky do RETELY, kde je provedena evidence telefonů. Poté jsou telefony předány zpracovateli nejprve na manuální, následně na mechanickou demontáž. V rámci manuální demontáže jsou mobilní telefony demontovány na 3 frakce: desku plošného spoje, baterii a kryt telefonu. Tato práce dále sleduje nakládání s deskou plošného spoje.

⁷ Úroveň sběru = celková hmotnost sebraných elektrozařízení a elektroodpadů k hmotnosti zařízení uvedených na trh výrobcí (Ministerstvo životního prostředí, 2016b).

Kryt a baterie jsou dále recyklovány, avšak jejich osud není sledován v rámci této práce. Projekt má i sociální rozměr, neboť samostatná demontáž mobilních telefonů je prováděna hendikepovanými či jinak znevýhodněnými lidmi na pracovním trhu. Po mechanickém zpracování jsou desky plošných spojů telefonů zpracovány v kovohutích, kde se z nich získávají druhotné suroviny.

Tato diplomová práce se věnuje nakládání se 2 000 MT vysbíraných v rámci projektu Remobil. Telefony byly vybrány v období od září 2015 do února 2016. Projektu se účastnilo 62 firem.



Obrázek 4 Fáze projektu Remobil

5. METODIKA

5.1. Porovnání sběrných boxů

Prvním cílem praktické části diplomové práce byly porovnávány 3 typy sběrných boxů určených pro sběr MT. V každém produktovém systému byl posuzován celý životní cyklus produktu, od výroby jednotlivých surovin, přes výrobu produktu, dopravu, užití až po ukončení životnosti, tzv. od kolébky ke hrobu. Hranice jednotlivých produktových systémů byly definovány s ohledem na zahrnutí všech podstatných procesů a materiálových a energetických toků podílejících se na životním cyklu.

5.1.1. Scénáře

Pro porovnání sběrných boxů mezi sebou, na základě jejich životního cyklu a dopadů na životní prostředí, byly použity dva scénáře. První scénář porovnává boxy na základě jejich životnosti, zatímco druhý k životnosti přidává i objem boxu.

Scénář 1

Pro účely porovnání sběrných boxů je stanovena jejich funkce, tedy „*místo na odkládání nepoužitých mobilních telefonů*“. Funkční jednotkou boxů tohoto scénáře je „*místo na odkládání EoL mobilních telefonů po dobu 12,5 let*“, přičemž objem boxu a intenzita svozu není limitující. Limitujícím faktorem tohoto scénáře je životnost boxu. Referenčním tokem je 1 nerezový box, 3 polypropylénové a 13 lepenkových boxů.

Scénář 2

V druhém scénáři je funkce porovnávaných boxů stejná, avšak funkční jednotka zahrnuje porovnání objemu a životnosti boxů. V tomto scénáři se předpokládá plné využití objemu sběrných boxů a jejich životnosti, za předpokladu, že intenzita svozu není limitující. Funkční jednotkou je „*místo na odkládání 15 000 EoL mobilních telefonů po dobu 12,5 let*“. K naplnění této funkční jednotky je zapotřebí 1 nerezový box, 7 polypropylénových a 15 lepenkových boxů.

5.1.2. Hranice systému

Hranice byly zúženy o části produktového systému, které byly u všech boxů stejné (např. reklamní nálepky, zámky na boxech).

5.1.3. Metodologie LCIA a typy dopadů

Pro analýzu dopadů životního cyklu sběrných boxů na životní prostředí byl použit charakterizační model CML 2001 a ECOtox. Sledované kategorie dopadu pro srovnání

jednotlivých systémů jsou: úbytek abiotických surovin, acidifikace, eutrofizace, globální oteplování, úbytek ozónové vrstvy a vznik fotooxidantů, dále ekotoxicita sladkovodních ekosystémů a lidská toxicita.

5.1.4. Typy a zdroje údajů

Data byla získána z několika zdrojů. Primární data byla poskytnuta z výroby jednotlivých boxů.

Data z výroby nerezového boxu byla poskytnuta od družstva Kovos. Data týkající se výroby polypropylénového boxu od firmy Spur a.s. a Smart Product Solution s.r.o.

Data z výroby posledního lepenkového boxu byla použita z databáze softwaru GaBi 6 a upravena dle dat od firmy Gnp spol. s.r.o.

Sekundární data pochází z databáze softwaru GaBi 6, který poskytuje kompletní namodelované procesy zprůměrované pro region Evropské Unie anebo konkrétně pro jednotlivé státy.

V případě, že namodelované procesy pro Českou republiku nebyly dostupné, použila jsem zprůměrovaná data pro Evropskou unii (EU-27).

Vzhledem k neúplnosti dostupných dat z výroby sběrných boxů docházelo k zjednodušení jednotlivých procesů a přijmutím určitých předpokladů, avšak vždy ve snaze o zachování komplexnosti a možnosti porovnání všech produktových systémů.

5.1.5. Sběrné boxy

Kolektivní systém RETELA používá na sběr MT v rámci projektu Remobil dva typy boxů: polypropylenový a lepenkový. Nerezový box byl pro sběr MT používán v minulosti, avšak byl zahrnut do analýzy také, neboť jej RETELA stále využívá pro sběr elektroodpadu.

Tabulka 4 Popis sběrných boxů

| TYP SBĚRNÉHO BOXU | OBJEM [l] | VÝŠKA [cm] | ŠÍŘKA [cm] | DÉLKA [cm] | VÁHA [kg] |
|---------------------|-----------|------------|------------|------------|-----------|
| Polypropylénový box | 20 | 30 | 30 | 40 | 0,3 |
| Lepenkový box | 60 | 160 | 60 | 60 | 0,985 |
| Box z nerez oceli | 70 | 102 | 40 | 40 | 20 |

Tabulka 5 Porovnání sběrných boxů

| POROVNÁNÍ SBĚRNÝCH BOXŮ | ŽIVOTNOST | | NAPLNĚNÍ TELEFONY | |
|-------------------------|-----------|---------------|-------------------|-------------|
| | [rok] | [počet sběrů] | Maximální [ks] | Reálné [ks] |
| Polypropylénový box | 5 | 20 | 100 | 31 |
| Lepenkový box | 1 | 4 | 250 | 35 |
| Box z nerez oceli | 10-15 | 50 | 300 | N/A |

Polypropylénový sběrný box

Polypropylénový box (dále jen PP box) má tvar kvádrů, je opatřen plastovými úchyty, zámkem a je potištěn nápisy. Objem sběrného boxu je 20 l a jeho váha je 0,3 kg. Jeho životnost byla odhadnuta na 5 let používání nebo 20 sběrů. Maximální naplněnost boxu je přibližně 100 MT, přičemž průměrné naplněné boxu v rámci projektu Remobil bylo 31 kusů MT.

Výroba

Box je vyroben z extrudovaného polypropylénu technologií vytlačování (extruzí). Mezi jeho přednosti patří vysoká pevnost a tuhost, nízká hmotnost, snadná zpracovatelnost, odolnost proti mechanickému poškození, trvanlivost a možnost několikanásobného použití. Použitý materiál je 3,5 /650 g/ m² komůrkový polypropylén, který je 100 % recyklovatelný.

Výroba boxu probíhá na dvou místech. Firma Spur, sídlící ve Zlíně, vyrábí z extrudovaného polypropylénu dutinkové desky. Poté z nich firma Smart Product Solution s.r.o., se sídlem v Brně, vyrábí finální boxy.

Pro výrobu samotného polypropylénového granulátu byl použit databázový proces zpracovaný asociací Plastic Europe. Tento proces zahrnuje komplexní data výroby polypropylénu, včetně těžby ropy, její dopravy a emisí, až po výrobu polyolefinu.

Pro modelaci elektrické energie byl použit databázový proces *energetický mix pro ČR*, který zahrnuje průměrný národní energetický mix a specifickou dodávku elektřiny v ČR, její distribuci a import z jiných států. Tento proces zahrnuje hlavní technologie získávání energie pro daný region využívající detailní modely elektráren, vznikajících emisí a odpadů.

Energetická náročnost technologie polypropylénu je přibližně 0,6 – 0,7 kWh (0,78 MJ)/ kg výrobku, včetně energie na výrobu stlačeného vzduchu a chlazení. Jelikož je PP termoplastický, nedochází při zpracování k jeho degradaci (termickému rozkladu) a k uvolňování významného množství znečišťujících látek. Voda se během technologie vytlačování používá jako chladicí médium. Spotřeba vody na jeden sběrný box byla odhadnuta na 0,001 l. Během výroby je užití vody v uzavřeném cyklu a k úbytku dochází pouze vlivem odparu. Během extruze nedochází k znečištění vody.

Při vyřezávání požadovaného tvaru vznikají zbytkové okraje (průměrně 10 - 15 % hmotnosti), které se přepracované vracejí zpátky do výroby. Při výrobě jednoho boxu jsou okraje přibližně 0,04 kg PP. Výroba boxu je nenáročná na odpady. Během výroby odpady nevznikají průběžně, pouze při údržbě výrobního zařízení (např. při výměně převodového oleje, který je při výrobě jednoho boxu u jednoho stroje přibližně 0,001 l oleje).

Pro výsek tvarů se ve firmě Smart Product Solution s.r.o. používají příklopové a automatické lisys, které požadovaný tvar z PP desky vyseknou. Z důvodů malého množství dat, byla spotřeba energie na výsek jednoho boxu odhadnuta odborníky u obou lisů na 18,2 J.

Následně jsou boxy v RETELE složeny do finálního tvaru. Složení boxu trvá přibližně 2 minuty a jeho environmentální dopady jsou zanedbatelné.

Doprava

Do produktového systému byla zahrnuta také doprava potřebných materiálů, jako je polypropylénový granulát a olej. Jelikož nebyly k dispozici přesné hodnoty přepravních

vzdáleností, byly použity standardizované odhady pro dopravu (lokální, v rámci ČR, v rámci Evropy, aj.) vytvořené a používané LCA odborníky v ČR. V tomto případě se jednalo o vzdálenost 500 km.

PP desky se z firmy Spur převáží do brněnské firmy Smart Product Solution s.r.o. (106 km) a následně jsou nesložené boxy odvezeny do RETELY (200 km).

Odpadové hospodářství

Předpokládá se, že s odpadní vodou bylo nakládáno v městské čistírně odpadních vod a s odpadními oleji v zařízení na energetické využití odpadu.

EoL polypropylénového boxu

Jelikož je PP 100 % recyklovatelný, předpokládá se po ukončení životnosti polypropylénového boxu jeho regranulace a znovuvyužití materiálu, stejně jako ve studii LCA porovnávající sběrné boxy Stephana Albrechta (et al. 2013). Pro modelaci byl použit proces granulátor, který zahrnuje proces drcení odpadního materiálu určeného k přepracování. Tento proces předpokládá 95 % účinnost recyklace vstupních materiálů.

Tabulka 6 Proces extruze polypropylénu

| VSTUPY | MNOŽSTVÍ | JEDNOTKA |
|--------------------------|-----------------|-----------------|
| Elektrická energie | 0,78 | MJ |
| Interní recyklovaná voda | 0,001 | l |
| Lubrikační olej | 0,001 | l |
| Polypropylenový granulát | 0,34 | Kg |
| VÝSTUPY | MNOŽSTVÍ | JEDNOTKA |
| Odpadní voda | 0,001 | l |
| Použitý olej | 0,001 | l |
| Odpad z výroby (PP) | 0,04 | kg |
| PP desky | 0,3 | kg |

Tabulka 7 Proces výroby polypropylénového boxu

| VSTUPY | MNOŽSTVÍ | JEDNOTKA |
|--------------------------|-----------------|-----------------|
| Elektrická energie | 18,2 | J |
| Interní recyklovaná voda | 0,002 | l |

| VSTUPY | MNOŽSTVÍ | JEDNOTKA |
|-----------------|-----------------|-----------------|
| Lubrikační olej | 0,002 | l |
| PP desky | 0,3 | kg |
| VÝSTUPY | MNOŽSTVÍ | JEDNOTKA |
| PP box | 0,3 | kg |
| Použitý olej | 0,002 | l |
| Odpadní voda | 0,002 | l |

Lepenkový box

Druhý box pro sběr mobilních telefonů je vyrobený z vlnité lepenky. Lepenka je recyklovaný a zároveň opětovně recyklovatelný výrobek, který se vyrábí z části z nového (Kraftliner) a z části z recyklovaného papíru (Westliner). Výhodou tohoto boxu je jeho relativně malá váha, avšak velkou nevýhodou je jeho krátká životnost, která je odhadována na jeden rok.

Box má tvar jehlanu s otvory na vhození mobilního telefonu, jeho rozměry jsou 160 x 60 x 60 cm. Uvnitř boxu se nachází další lepenková krabice o rozměrech 50 x 50 x 50 cm. Mimo funkci sběru slouží lepenkový box také jako informační banner. Maximální naplněnost boxu byla odhadnuta na 250 MT, avšak průměrné naplnění v rámci projektu Remobil bylo 35 kusů MT.

Výroba

Proces výroby lepenkového boxu byl použit z databáze GaBi 6, stejně jako jej použil Albrecht et al. (2013) v LCA studii porovnávající sběrné boxy, a doplněn daty z výroby. Proces výroby byl vytvořen Evropskou federací výrobců vlnité lepenky (FEFCO) a je doporučen pro porovnání vlnité lepenky s jinými materiály. Údaje o výrobě lepenky z primárních vláken a ze sběrového papíru využitím různých technologií jsou vypočteny jako vážený průměr z evropských výrobních závodů. Box byl vyroben firmou Gnp spol. s.r.o. sídlící ve Vsetíně.

Doprava

Box byl vyroben ve Vsetíně a následně převezen do RETELY (340 km).

EoL lepenkového boxu

Pro ukončení životnosti lepenkového boxu byl vybrán proces energetického využití odpadu ve spalovně. Lepenka již několikrát recyklovaný materiál, který lze recyklovat pouze párkrát, vždy s využitím nových vláken. Míra recyklace se proto odráží na materiálovém složení lepenky a dostupné technologii. Jelikož v použité databázi nebyl dostupný proces recyklace lepenky, byl použit proces energetického využití, stejně jako jej použil Albrecht et al. (2013) v LCA studii porovnávající sběrné boxy.

Box z nerezové oceli

Poslední box je vyroben z nerezové oceli. Mezi výhody nerezového boxu patří jeho dlouhá životnost (přibližně 10 – 15 let) a velký objem (až 300 MT). Mezi jeho nevýhody patří vysoká pořizovací cena a velká hmotnost. Z těchto důvodů se box přestal používat pro sběr MT a nyní se využívá pro sběr elektroodpadu. Jelikož byl donedávna používán pro sběr telefonů, byl zahrnut do analýzy spolu s ostatními dvěma boxy.

Nerezový box váží 20 kg a jeho rozměry jsou 102 x 40 x 40 x cm. Objem boxu je 70 l. Vnější část boxu tvoří pozinkovaný plech s práškovým nástřikem vážící přibližně 13,55 kg, otevírací část je z nerez oceli o váze cca 0,8 kg a vnitřní koš je z galvanizované oceli o váze 5,55 g. Po stranách boxu se nacházejí dvě polypropylenové úchytky o váze 0,1 kg (2x 50 g).

Výroba

Box se vyrábí ve firmě Meva-tec, s.r.o. sídlící v Roudnici nad Labem, přibližně 55 km od RETELY. Potřebná data byla získána z výroby. V případě chybějících dat bylo nutné provést určité předpoklady nebo zjednodušení.

Základní materiálem pro výrobu boxu je galvanizovaný ocelový plech. Na výrobu nerezové oceli byl použit proces z databáze obsahující procesy výroby ocelového plechu, zahrnuje procesy počínající rafinací, legování až po povrchovou úpravu produktu. Pro výrobu polyetylénových úchytek byl použit proces vytlačování polyetylénu. Při výrobě boxu bylo použito mnoho strojů: děrovací lisy, ohraňovací lisy, ohýbací centrum. Dále pak svářečky stojanové, klešťové a svářečky CO₂, které svařily box na 10-ti místech. Spotřeba energie během výroby boxu na všech vyjmenovaných strojích byla sečtena a je odhadována na 18,4 MJ. Odpad ocelového plechu při výrobě se pohybuje okolo 30 %, což činí u výroby jednoho boxu přibližně 6 kg. Povrch plechu je upravený fosfátovací lázní a poté je lakován na lakovací lince. Na jeden box bylo odhadnuto použití disperzního činidla o objemu 0,02 l a spotřeba přibližně 1,2 kg barvy. Voda se během výroby používá na oplachování a do fosfátovacích lázní, recykluje se a vrací se zpátky do oběhu. Boxy jsou dále vypalovány a sušeny v pecích. Pro výrobu tepla se používají dva plynové hořáky, další dva hořáky pro ohřev vody a pásová linka je poháněna elektromotorem. Celková spotřeba energie pro vypalování a sušení byla vypočítána na 16 MJ, spotřeba oleje na 0,006 l a vody 0,006 l. Během vypalování a sušení vznikají prachové a plynové emise, např. emise CO, NO_x, aj.

Doprava

Do produktového systému nerezového boxu byla zahrnuta doprava surovin do místa výroby boxu. Stejně jako u PP boxu, ani zde nebyly známy přesné vzdálenosti dopravy surovin. Pro dopravu byly použity standardizované hodnoty, konkrétně 500 km u každé suroviny (polyetylénový granulát, barva, aj.). Boxy byly převezeny do RETELY na vzdálenost 55 km.

Odpadové hospodářství

Je stejné jako u PP boxu. Fosfátovací lázně jsou odstraňovány jako nebezpečný odpad, u kterého se předpokládá spalení v zařízení na energetické využití odpadu.

EoL nerezového boxu

Po konci životnosti boxu, stejně jako u nerezového odpadu vznikajícího během výroby, se předpokládá, že bude odevzdán k recyklaci. Pro recyklaci galvanizované oceli byl použit databázový proces recyklační potenciál nerezové galvanizované oceli, který zahrnuje všechny důležité kroky recyklace materiálu spolu s odstraněním nerecyklovatelných částí. Vzhledem k velikosti polyetylenových úchytek je předpokládáno jejich spálení v zařízení na energetické využití odpadu.

Tabulka 8 Proces výroby nerezového boxu

| VSTUPY | MNOŽSTVÍ | JEDNOTKA |
|--------------------------|-----------------|-----------------|
| Elektrická energie | 34,4 | MJ |
| Nerez ocel | 1,04 | kg |
| Nerez ocel galvanizovaná | 24,8 | kg |
| Polyetylenové úchytky | 0,1 | kg |
| Disperzní činidlo | 0,02 | l |
| Máčecí lak | 1,2 | kg |
| Lubrikační olej | 0,006 | l |
| Bodové svary | 10 | krát |
| Voda | 0,006 | l |

| VÝSTUPY | MNOŽSTVÍ | JEDNOTKA |
|-------------------------------|-----------------|-----------------|
| Nerezový box | 20 | kg |
| Nerezový odpad | 6 | kg |
| Odpadní voda | 0,006 | l |
| Nebezpečný odpad | 0,032 | l |
| Použitý olej | 0,006 | l |
| PM 10 | 0,002 | kg |
| NO x | 0,0225 | kg |
| CO | 171 | kg |
| Emise organických látek (TOC) | 0,0201 | kg |

5.2. Projekt Remobil

Druhá část výzkumu se zaměřuje na dopady projektu Remobil pomocí 3 scénářů, které modelují různé varianty projektu. Nakonec se dopady projektu porovnávají s dopady

získání stejného množství primárních surovin. Kompletní popis procesů a plánu je pouze u prvního scénáře, neboť procesy v druhém a třetím scénáři jsou totožné.

5.2.1. Scénáře

Dopady sběru mobilních telefonů byly posuzovány v rámci několika částí. První část zahrnuje výrobu sběrných boxů, které byly potřeba pro sběr telefonů. Jelikož v rámci projektu nebyl vyhozen žádný box, nezahrnuje tato část konec životnosti jednotlivých boxů, což může vést k nadhodnocení jejich dopadu. Další část se věnuje dopadům dopravy v rámci projektu zahrnující veškeré ujeté kilometry. Třetí část sleduje dopady mechanické demontáže. Poslední část se věnuje potenciálním dopadům procesu získáním sekundárních surovin v kovohutích.

Pro porovnání výsledků byly vytvořeny 3 scénáře. První scénář zobrazuje dopady projektu Remobil a vychází ze soudobé praxe – základní scénář. Jelikož v prvním scénáři výrazně dominuje doprava, eliminuje druhý „teoretický“ scénář dopravu v rámci sběru boxu a sleduje ovlivnění jejího vyloučení v rámci výsledků. Jelikož cílem projektu Remobil je sběr 10 000 telefonů, pracuje třetí scénář s tímto cílovým sběrem za předpokladu, že doprava osobním automobilem zůstane stejná jako u základního scénáře a sběrné boxy s telefony budou dopravovány jinou cestou (např. poštou) a počet boxů na sběr se navýší o polovinu. Tento scénář můžeme nazvat jako doporučující, neboť jej kolektivní systém může stále uvést v praxi.

Nejprve byla provedena inventarizace dat, která ukazuje významné vstupní a výstupní elementární toky v rámci produktového systému, dále byla vypočtena charakterizační tabulka hodnotící potenciální dopady na jednotlivé kategorie dopadu. V rámci studie byly sledovány vyjmenované kategorie dopadu: úbytek neobnovitelných surovin, acidifikační potenciál, eutrofizační potenciál, globální oteplování, úbytek stratosférického ozónu a vznik fotooxidantů. Dle metodiky USEtox byla sledována také ekotoxicita sladkovodních ekosystémů a lidská

toxicita. Nakonec následovala normalizace výsledků pomocí metodiky CML 2001 - Apr. 2015, EU 25+3, rok 2000, zahrnující biogenní uhlík.

Scénář 1

V prvním scénáři, modelujícím pilotní fázi projektu Remobil, je funkční jednotkou: *nakládání s 2 000 EoL mobilními telefony v rámci pilotní fáze projektu Remobil*. Referenčním tokem je 2000 EoL mobilních telefonů. Pro sběr MT bylo použito 43 polypropylénových a 19 lepenkových boxů. Do pilotní fáze projektu bylo zapojeno 62 firem sídlících po celé ČR a v rámci sběru a schůzek bylo najeto 5525 km.

Scénář 2

V druhém scénáři je funkce i funkční jednotka stejná jako je u prvního scénáře. Jediným rozdílem je eliminace části dopravy, konkrétně 5 525 km najetých při sběru sběrných boxů s MT. Ostatní doprava zahrnující transport všech materiálů a dopravu EoL mobilních telefonů do recyklačních zařízení byla ponechána. Tento scénář zkoumá míru ovlivnění velikosti dopravy na schéma sběru.

Scénář 3

Poslední scénář posuzuje cílový sběr projektu - 10 000 mobilních telefonů. Předpokládá stejnou míru velikosti dopravy jako u základního scénáře, avšak nepředpokládá další navýšení dopravy, ale využití transportu sběrných nádob a telefonů jinou cestou než je osobním automobilem (např. poštou, kde se pro zjednodušení předpokládá zanedbatelný dopad na životní prostředí vlivem alokace dopadů dopravy na větší náklad). Funkční jednotkou je: *nakládání s 10 000 EoL mobilními telefony*. S vyšším sběrem telefonů se pojí i větší potřeba sběrných nádob. Tento scénář předpokládá navýšení počtu sběrných boxů o polovinu, konkrétně na 65 polypropylénových a 28 lepenkových boxů.

5.2.2. Metodologie LCIA a typy dopadů

Stejně jako v předcházející studii byl použit charakterizační model CML 2001. Dopad na životní prostředí byl hodnocen dle kategorií dopadu: úbytek abiotických surovin, acidifikace, eutrofizace, globální oteplování, úbytek ozónové vrstvy a vznik fotooxidantů. Dále ekotoxicita sladkovodních ekosystémů a lidská toxicita pomocí charakterizačního modelu ECOtox.

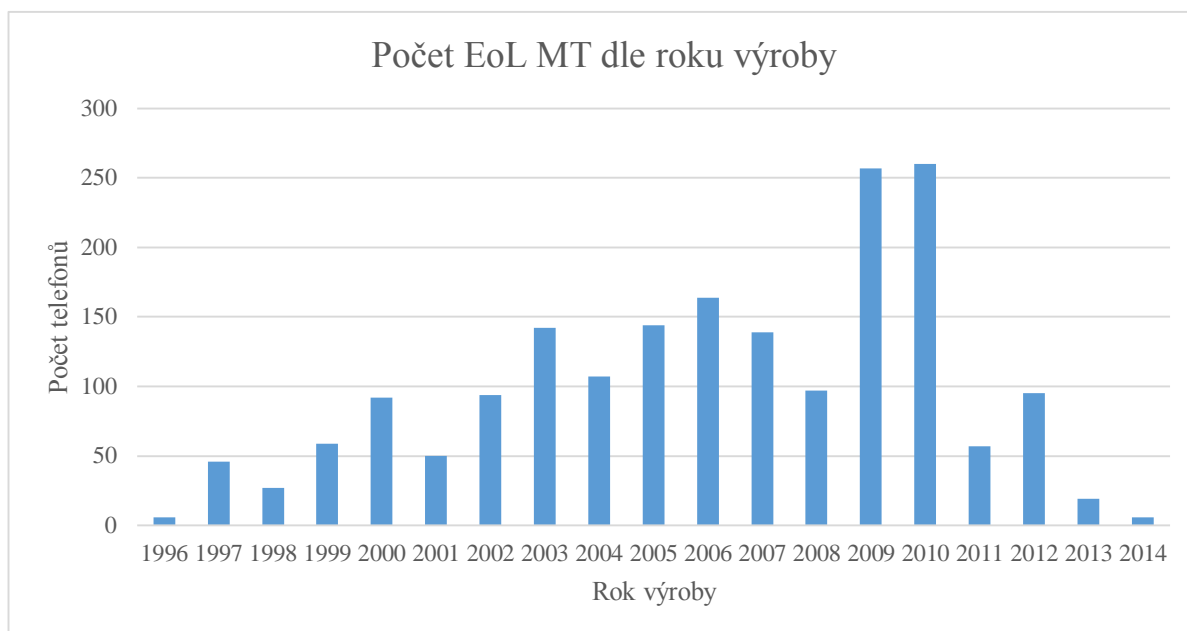
5.2.3. Typy a zdroje údajů

Byl kladen důraz na co největší použití primárních zdrojů dat. Primární data použitá při práci pocházela od výrobců, zpracovatelů a od kolektivního systému zpětného odběru RETELA, s.r.o. V případě nedostatku primárních dat, byly použity sekundární zdroje dat. Sekundární data pochází z databáze softwarů GaBi 6 a Ecoinvent 2.2. Namodelované procesy z obou databází obsahují kompletní data daného procesu či materiálu zprůměrovaná pro Evropu či pro konkrétní státy.

5.2.4. Sběr

V rámci pilotního stádia projektu Remobil bylo vysbíráno 2 000 telefonů o celkové hmotnosti 208 kg. Průměrná váha jednoho telefonu byla 103,2 g. Nejvíce telefonů vysbíraných během (první fáze) projektu byly 6 – 7 let staré, vyrobené v letech 2009 - 2010. Velkou část dále zaujímaly telefony vyrobené v letech 2006 a 2003 (viz. Obr. 5). Ve vysbíraném vzorku EoL MT se ukázala převaha značky Nokia s podílem 51 % telefonů. Dalšími často se vyskytujícími značkami telefonů byly Samsung, Siemens, Sony Ericsson a BlackBerry. Značky telefonů, které se ve vzorku objevily v počtu menším než 3 kusy, nebyly v grafu zaznamenány.

Telefony byly sbírány do dvou typů sběrných boxů; do menšího polypropylénového sběrného boxu a do většího boxu z lepenky.



Obrázek 5 Počet EoL mobilních telefonů dle roku výroby



Obrázek 6 Značky mobilních telefonů dle početnosti

Doprava

Dohromady se v rámci zajištění svozu a komunikace s firmami najezdilo osobním autem 5 525 km. Doprava autem zahrnovala osobní schůzky, dovoz boxů do firem, administrativní náležitosti, svoz boxů do RETELY, aj. Průměrně se v rámci jedné firmy zapojené do sběru MT

najezdilo okolo 89 km. Jelikož se jedná o pilotní fázi projektu, předpokládá se, že jsou najeté kilometry a celkové náklady oproti standardnímu provozu vyšší zhruba o polovinu.

Projektu se účastnilo velké množství firem sídlících po celé ČR. Mnoho firem sídlilo v Praze či ve Středočeském kraji, avšak výjimkou nebyly firmy např. z Frenštátu, Českých Budějovic, Trutnova, Valašského Meziříčí, Nymburku, aj.

Pro modelování dopravy byl použit proces výroby benzínu zahrnující zprůměrovaná data pro Evropskou Unii. Svoz byl zajišťován osobním autem z roku 2005 s emisní jednotkou EURO IV. V rámci projektu se jezdilo zejména pro mobilní telefony a na schůzky spojené s projektem, veškerý dopad na životní prostředí způsobený dopravou se proto vztahuje k projektu Remobil a není alokovan.

Po svozu se telefony dopravovaly dále z RETELY do Trutnova na vzdálenost 160 km a posléze desky plošných spojů z Trutnova do Goslaru v Německu na vzdálenost 531 km. Desky plošných spojů dále putovaly do švédských kovohutí ve městě Boliden na vzdálenost 2006 km. Během těchto jízd byl použit nákladní automobil s dieselovým pohonem. Pro účely modelace byl použit databázový proces výroby dieselového paliva zahrnující zprůměrovaná data pro Evropskou Unii.

Baterie a kryt mobilního telefonu byly postoupeny dále na zpracování a recyklaci. Jelikož nebyly k dispozici přesné hodnoty přepravních vzdáleností, byly použity standardizované odhady pro dopravu (lokální, v rámci ČR, v rámci Evropy, aj.) používané LCA odborníky

v ČR. V případě baterií se jednalo o vzdálenost 500 km a 1 000 km u krytu telefonu. V těchto případech byla použita alokace spotřebovaného paliva v poměru k váze přepravovaného materiálu, neboť nákladní automobil nevezl pouze části mobilních telefonů, ale také jiný náklad.

Demontáž

Demontáž mobilních telefonů byla manuálního a mechanického charakteru. Telefony byly nejprve manuálně demontovány v chráněné dílně na tři frakce: desku plošného spoje (elektronická část telefonu – včetně procesoru, paměti, kamery, LCD displeje, atd.), baterii a kryt telefonu. Jelikož spotřeba vody a energie byla při manuální demontáži bezvýznamná a v rámci celého systému zanedbatelná, nebyla zahrnuta do studie. Z celkového množství 2 000 ks telefonů bylo získáno 148 kg desek plošných spojů, 36 kg baterií, které byly předány na recyklaci v rámci ČR a 26 kg krytů telefonu, které byly recyklovány v Německu.

V rámci této práce byl pouze sledován osud 148 kg desek plošných spojů, které postupovaly dále na mechanickou demontáž do německého Goslaru. V rámci mechanické demontáže byly nadrceny skartovacím strojem na velikost menší než 30 mm na homogenní směs bez nadměrných částic. Takto nadrcený elektromateriál je vhodný pro další pyrometalurgické zpracování. Skartovací stroj má spotřebu 55 kWh/t skartovaného elektroodpadu. Během procesu skartování nevznikají odpady ani emise díky filtracím. Pro modelování elektrické energie byl použit databázový proces *energetický mix pro Německo*, který zahrnuje průměrný německý energetický mix a specifickou dodávku elektřiny v Německu. Tento proces zahrnuje hlavní technologie získávání energie pro daný region využívající detailní modely elektráren, vznikajících emisí a odpadů. Množství spotřebovaného oleje potřebného na promazávání strojů v drticím zařízení bylo převzato z databázového procesu popisující mechanickou demontáž (konkrétně 0,00394 kg oleje/ 1kg nadrceného materiálu).

Předpokládá se, že s odpadním olejem bylo nakládáno v zařízení na energetické využití odpadu.

5.2.5. Finální zpracování

Finální zpracování skartovaných desek plošných spojů probíhalo pyrometalurgickým zpracováním v kovohuti v Bolidenu. Ze 146 kg desek plošných spojů byly získány sekundární suroviny: 18,3 kg mědi, 0,0438 kg zlata, 0,2044 kg stříbra a 0,0073 kg palladia. Z důvodu nedostatku dat bylo množství získaných ostatních kovů převzato z literatury dle Navazo et al. (2013), konkrétně u niklu (2,19 kg) a olova (0,876 kg).

Pro přiblížení náročnosti zpracování sekundárních surovin při pyrometalurgickém procesu byly použity procesy získání jednotlivých sekundárních materiálů z databáze Ecoinvent 3.2.

5.2.6. Získání primárních surovin

Pro porovnání dopadů projektu Remobil byl vybrán scénář získání primárních surovin, ve stejném množství primárních kovů v jakém byly v rámci projektu recyklovány (1. scénář). Pro modelaci získání primárních kovů byly použity procesy z databáze Ecoinvent 3. 2., zahrnující dopady těžby, extrakce a dočištění primárních surovin, stejně jako ve studii Hitchiera et al. (2005) modelující sběr elektroodpadu ve Švýcarsku.

6. VÝSLEDKY

Kapitola výsledky je rozdělena do několika dílčích podkapitol, které se věnují výsledkům jednotlivých modelování pomocí softwarů GaBi 6 a Ecoinvent. Nejdříve byla získána inventarizační tabulka, která shrnuje veškeré elementární toky, vstupy a výstupy z produktového systému. Poté byla vypočítána charakterizační tabulka pomocí dopadů jednotlivých kategorií dopadu. V rámci studie byly sledovány kategorie dopadu charakterizačního modelu CML 2001: úbytek neobnovitelných surovin, acidifikační potenciál, eutrofizační potenciál, globální oteplování, úbytek stratosférického ozónu a vznik fotooxidantů. Dále ekotoxicita sladkovodních ekosystémů a lidská toxicita pomocí charakterizačního modelu

ECOtox. Nakonec proběhla normalizace výsledků pomocí metodiky CML 2001- Apr. 2015, EU 25+3, rok 2000.

První část této kapitoly se věnuje porovnání sběrných boxů, druhá se zabývá výsledky dopadů systému sběru mobilních telefonů, třetí část porovnáním dopadů získání primárních surovin se sběrem a následnou recyklací telefonů a čtvrtá část hodnotí tzv. zlomový bod pro dopravu.

Z důvodu velkého počtu výsledků reprezentovaných pomocí grafů a tabulek, byly výsledky redukovány, aby nedocházelo k jejich opakování a byly použity pouze ty nejdůležitější.

6.1. Sběrné boxy

První podkapitola se věnuje porovnání sběrných boxů z hlediska potenciálních dopadů na životní prostředí. Pro porovnání byly zvoleny dva scénáře.

6.1.1. Scénář 1

Funkce a funkční jednotka

Za funkční jednotku bylo zvoleno: *místo na odkládání 15 000 EoL mobilních telefonů po dobu 12,5 let*. Pro naplnění funkční jednotky byl jako referenční tok zvolen: 1 nerezový, 7 polypropylénových a 15 lepenkových boxů.

Inventarizace

Nejdříve se výstupy hodnotily pomocí inventarizační tabulky. Z hlediska posouzení sběrných boxů dle inventarizační tabulky lze analyzovat určité výstupy. Ukázalo se, že nejvíce emisí látek uvolněných do vzduchu, vody a do půdy způsobuje výroba nerezového boxu. Největší spotřeba neobnovitelných surovin se pojí s výrobou nerezové oceli. Taktéž nejvíce skleníkových plynů je emitováno při procesu výroby nerezové oceli. Výroba lepenky způsobuje nejvyšší únik kovů do sladké vody a zároveň nejvyšší únik těžkých kovů

a organických emisí do průmyslově využívané půdy ze všech posuzovaných systémů. V rámci výroby polypropylénového boxu má největší dopad výroba polypropylénu.

Tabulka 9 Inventarizační tabulka: Porovnání boxů, 1. scénář

| Typy boxů | | Lepenkový box [kg] | Nerezový box [kg] | Polypropyl. Box [kg] |
|---|------------------------------------|-----------------------|----------------------|-------------------------|
| Elementární toky | Celkem | -10762 | 104131 | 2737 |
| | Celkem | -5279 | 50750 | 1301 |
| | Energetické zdroje | -0,476 | 17,974 | 1,060 |
| | Materiálové suroviny | -5279 | 50732 | 1299 |
| Emise látek do ovzduší | Celkem | -4,81E-06 | -0,00025 | 1,13E-06 |
| | Těžké kovy | 47,63 | 514,56 | 17,63 |
| | Anorganické látky | -0,001 | 0,084 | 0,004 |
| | Organické sloučeniny (VOC) | 82,32 | 190,01 | 6,26 |
| | Ostatní emise | 0,001 | 0,009 | 0 |
| | Prachové částice (PM) | 2,44E-09 | 3,32E-07 | 1,24E-08 |
| | Pesticidy | 3,16E-07 | 2,21E-07 | 2,75E-14 |
| | Radioaktivní emise | -5582 | 52465 | 1402 |
| | Celkem | 0,126 | 0,534 | 0,001 |
| | Těžké kovy | -0,004 | 0,019 | 0,001 |
| Emise látek do povrchových vod | Anorganické látky | 0,048 | 0,925 | 0,019 |
| | Organické sloučeniny | 0,013 | 0,030 | 0 |
| | Ostatní emise | -5497 | 49810 | 1263 |
| | Prachové částice | 0,124 | 0,124 | 0,005 |
| | Radioaktivní emise | -85 | 2653 | 139 |
| | Celkem | 2,23 | 70,92 | 0,19 |
| | Emise látek do mořských vod | Celkem | 2,23 | 70,92 |
| Emise látek do zemědělsky využívané půdy | Celkem | 4,41E-09 | -2,04E-06 | 1,36E-07 |
| Emise látek do průmyslově využívané půdy | Celkem | 0,0016 | 0,0003 | 3,31E-06 |

Hodnocení dopadu životního cyklu

Kladné výsledné hodnoty značí negativní dopad na životní prostředí, zatímco záporné hodnoty znamenají určitý benefit pro ŽP: např. materiál se nespotřebává, ale recykluje se.

V levé části tabulky jsou vybrané kategorie dopadu. Tab. 10 ukazuje absolutní výsledné hodnoty, zatímco Tab. 11 hodnoty relativní a slouží k přehlednějšímu porovnání výsledných hodnot. Životní cyklus nerezového boxu má největší dopady ve všech posuzovaných kategoriích dopadu, kromě kategorie úbytek stratosférického ozónu. V této kategorii má nejvýznamnější

dopad box z lepenky (74 %), který se dále podílí významnou mírou také na kategorii eutrofizační potenciál (28,5 %) a vznik fotooxidantů (21 %). Polypropylénový box má ze všech posuzovaných boxů nejmenší dopad na životní prostředí ve všech vybraných kategoriích.

Tabulka 10 Charakterizační tabulka: Porovnání boxů 1. scénář, absolutní hodnoty

| Kategorie dopadu | Jednotka | Lepenkový box | Nerezový box | Polypropyl. box |
|---|------------------------------|---------------|--------------|-----------------|
| Úbytek materiálových surovin (ADP elements) | [kg Sb-Equiv.] | 6,33E-06 | 5,12E-03 | 2,75E-07 |
| Úbytek energetických surovin (ADP fossil) | [MJ] | 28,310 | 478,652 | 24,417 |
| Acidifikační potenciál (AP) | [kg SO ₂ -Equiv.] | 0,007 | 0,167 | 0,005 |
| Eutrofizační potenciál (EP) | [kg Phosphate-Equiv.] | 0,010 | 0,024 | 0,001 |
| Globální oteplování (GWP 100 years) | [kg CO ₂ -Equiv.] | 3,103 | 32,778 | 1,764 |
| Úbytek stratosférického ozónu (ODP) | [kg R11-Equiv.] | 1,20E-06 | 4,19E-07 | 7,74E-12 |
| Vznik fotooxidantů (POCP) | [kg Ethene-Equiv.] | 0,002 | 0,009 | 0,000 |

Tabulka 11 Charakterizační tabulka: Porovnání boxů 1. scénář, relativní hodnoty [%]

| Kategorie dopadu | Jednotka | Lepenkový box | Nerezový box | Polypropyl. box |
|---|------------------------------|---------------|--------------|-----------------|
| Úbytek materiálových surovin (ADP elements) | [kg Sb-Equiv.] | 0,12 | 99,87 | 0,01 |
| Úbytek energetických surovin (ADP fossil) | [MJ] | 5,33 | 90,08 | 4,59 |
| Acidifikační potenciál (AP) | [kg SO ₂ -Equiv.] | 3,95 | 93,33 | 2,73 |
| Eutrofizační potenciál (EP) | [kg Phosphate-Equiv.] | 28,55 | 69,90 | 1,55 |
| Globální oteplování (GWP 100 years) | [kg CO ₂ -Equiv.] | 8,24 | 87,07 | 4,69 |
| Úbytek stratosférického ozónu (ODP) | [kg R11-Equiv.] | 74,06 | 25,94 | 0,00 |
| Vznik fotooxidantů (POCP) | [kg Ethene-Equiv.] | 20,96 | 74,97 | 4,07 |

Tabulka 12 Ekotoxicita a toxicita: Porovnání boxů, absolutní hodnoty

| Kategorie dopadu | Jednotka | Lepenkový box | Nerezový box | Polypropyl. box |
|--------------------------------------|----------|---------------|--------------|-----------------|
| Ekotoxicita sladkovodních ekosystémů | [CTUe] | 1,854 | 9,675 | 0,042 |
| Lidská toxicita - karcinogenní | [CTUh] | 2,36E-09 | 1,70E-08 | 3,97E-10 |
| Lidská toxicita - nekarcinogenní | [CTUh] | 1,50E-06 | 1,92E-06 | 4,63E-08 |

Tabulka 13 Ekotoxicita a toxicita: Porovnání boxů, relativní hodnoty [%]

| Kategorie dopadu | Jednotka | Lepenkový box | Nerezový box | Polypropyl. box |
|--------------------------------------|----------|---------------|--------------|-----------------|
| Ekotoxicita sladkovodních ekosystémů | [CTUe] | 16,02 | 83,61 | 0,36 |
| Lidská toxicita – karcinogenní | [CTUh] | 11,93 | 86,06 | 2,01 |
| Lidská toxicita – nekarcinogenní | [CTUh] | 43,28 | 55,39 | 1,33 |

Největší potenciál ekotoxicity sladkovodních ekosystémů má na tuto kategorii opět nerezový box, který představuje až 84 % veškerého dopadu. Dále následuje box z lepenky s 16 % potenciálu dopadu. Nejmenší potenciál ekotoxicity sladkovodních ekosystémů má polypropylenový box s 0,4 % dopadu.

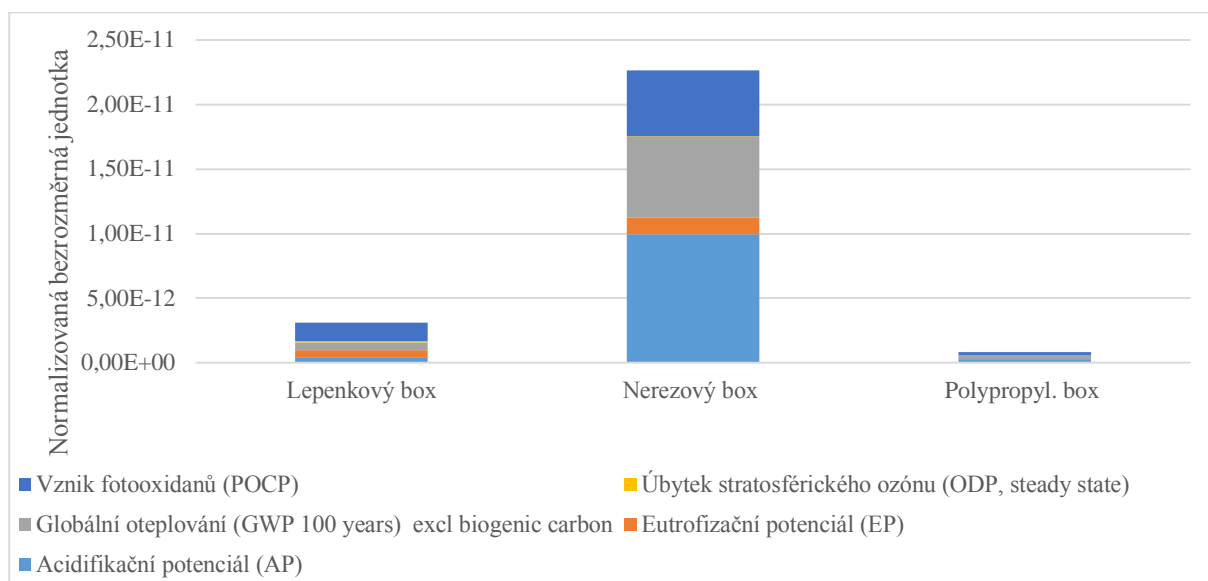
Na první pohled je z výsledků zřejmé, že životní cyklus nerezového boxu má největší dopady na životní prostředí. Nerezový box má největší dopady v kategoriích úbytek abiotických surovin, acidifikační potenciál, eutrofizační potenciál, globální oteplování a vznik fotooxidantů. Největší environmentální dopady způsobují procesy zejména výroby nerezové oceli, které téměř všechny kategorie nejvíce ovlivňují. Výroba elektrické energie způsobuje oproti výrobě nerezové oceli minoritní dopad, avšak také významný, např. podílí se z 18 % na kategorii globální oteplování, z 13 % na úbytku energetických zdrojů a z 13 % na vzniku troposférického ozónu. Na environmentálních dopadech se také větší mírou podílí barvicí lak, který např. v kategorii acidifikační potenciál způsobuje až 41 % dopadů.

Pouze v kategorii úbytek stratosférického ozónu má větší dopad lepenkový box, což je způsobeno emisemi těkavých organických látek během jeho výroby. Oproti polypropylénovému boxu má lepenkový box větší dopad ve všech posuzovaných kategoriích. Přibližně 6 x více v kategorii vzniku fotooxidantů, 71 x více při úbytku stratosférického ozónu a 25 x více v potenciálu eutrofizace. V rámci životního cyklu polypropylénového boxu má největší dopad na kategorie dopadu výroba polypropylénu. Dále výroba elektrické energie. Z výsledků modelování 1. scénáře je zřejmé, že polypropylénový box má ze všech boxů nejmenší dopad v posuzovaných kategoriích dopadu a je nejvhodnější pro sběr mobilních telefonů z hlediska životnosti a objemu boxu.

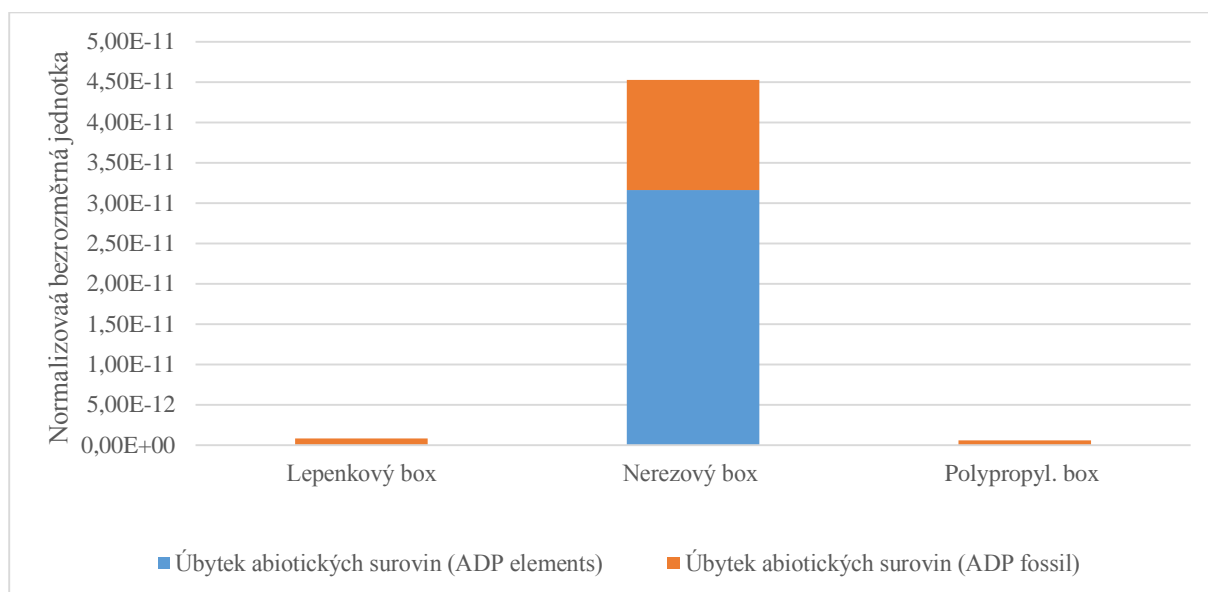
Normalizace

Poslední krokem je normalizace výsledků. Na základě převedení jednotlivých výsledků na normalizovanou bezrozměrnou hodnotu je zřejmé, že životní cyklus nerezového boxu

má největší dopad na posuzované kategorie v rámci prvního scénáře, zatímco dopady životního cyklu polypropylénového boxu jsou nejmenší (viz. Obr. 7).



Obrázek 7 Normalizace: Porovnání boxů I. scénář a.



Obrázek 8 Normalizace, Porovnání boxů I. scénář b.

6.1.2. Scénář 2

Funkční jednotkou 2. scénáře je: *místo na odkládání EoL mobilních telefonů po dobu 12,5 let.* Referenční tokem pro naplnění funkční jednotky je 1 nerezový box, 3 polypropylénové a 13 lepenkových sběrných boxů.

Inventarizace

Stejně jako u prvního scénáře byla nejprve spočítána inventarizační tabulka, která přinesla obdobné výstupy a zjištění jako u prvního scénáře. Největší emisní a materiálové toky ve většině případů způsobuje výroba nerezového boxu. Např. největší emise CO₂ jsou emitovány při výrobě nerezového boxu (81,6 % všech emisí), poté při výrobě lepenkového boxu (14,6 % všech emisí), zatímco nejmenší emise CO₂ u výroby polypropylenového boxu (3,8 % všech emisí). U dalšího skleníkového plynu N₂O jsou výsledky podobné, nerezový box zastává většinu emisí (66,5 %), následuje lepenkový box (31,5 %) a polypropylénový box (2 %). Pouze v pár případech zastává největší emisní a materiálové toky právě lepenkový box. Zajímavým faktem je, že nejvíce amoniaku (74 %) a těkavých organických látek (81 %) je emitováno při výrobě lepenkového boxu. Dalším faktem je, že nejvíce emitovaných anorganických emisí do vodního prostředí, největší emise dusíku (98,5 %), fosforu (68,4 %) a draslíku (93,8 %) pocházejí z výroby lepenkového boxu. Polypropylénový box má v naprosté většině případů 2. scénáře nejmenší materiálové a emisní toky v rámci inventarizační tabulky.

Hodnocení dopadu životního cyklu

Dále byly posuzovány vlivy životního cyklu boxů na jednotlivé kategorie dopadu. Stejně jako u 1. scénáře lze výsledky porovnat pomocí dvou tabulek, první s hodnotami absolutními, druhá s relativními. Na první pohled je zřejmé, že i v 2. scénáři má nerezový box největší dopad na úbytek materiálových surovin (99,9 %), neboť při výrobě nerezové oceli je spotřebováno nejvíce neobnovitelných zdrojů ze všech třech boxů, jako jsou např. nerostné suroviny. Výroba nerezové oceli spotřebovává také největší množství hnědého (2 kg) a černého uhlí (2,54 kg) v posuzovaných systémech, důsledkem je vysoký úbytek energetických surovin. Dále má vysoký acidifikační potenciál (94 %), protože výroba nerezové oceli způsobuje emise SO₂ (0,113 kg) a oxidy dusíku (0,112 kg) a dále eutrofizační potenciál (73 %) a vznik fotooxidantů (76 %) v důsledku vysokých emisí CO (93 %, 0,094 kg), NO_x (79 %, 0,07 kg)

a VOC (21 %, 4,54E-05 kg). Pouze na kategorii úbytek stratosférického ozónu má největší dopad box lepenkový (71 %), z důvodů vysokého množství uvolněných těkavých organických látek během výroby boxu. Polypropylénový box má i z hlediska posuzování potenciálního dopadu nejmenší environmentální dopady.

Tabulka 14 Charakterizační tabulka: Porovnání boxů 2. scénář, absolutní hodnoty

| Kategorie dopadu | Jednotka | Lepenkový box | Nerezový box | Polypr. box |
|---|------------------------------|---------------|--------------|-------------|
| Úbytek materiálových surovin (ADP elements) | [kg Sb-Equiv.] | 5,49E-06 | 5,12E-03 | 1,03E-07 |
| Úbytek energetických surovin (ADP fossil) | [MJ] | 24,536 | 478,652 | 9,156 |
| Acidifikační potenciál (AP) | [kg SO ₂ -Equiv.] | 0,006 | 0,167 | 0,002 |
| Eutrofizační potenciál (EP) | [kg Phosphate-Equiv.] | 0,008 | 0,024 | 0,000 |
| Globální oteplování (GWP 100 years) | [kg CO ₂ -Equiv.] | 2,689 | 32,778 | 0,662 |
| Úbytek stratosférického ozónu (ODP) | [kg R11-Equiv.] | 1,04E-06 | 4,19E-07 | 2,90E-12 |
| Vznik fotooxidantů (POCP) | [kg Ethene-Equiv.] | 0,002 | 0,009 | 0,000 |

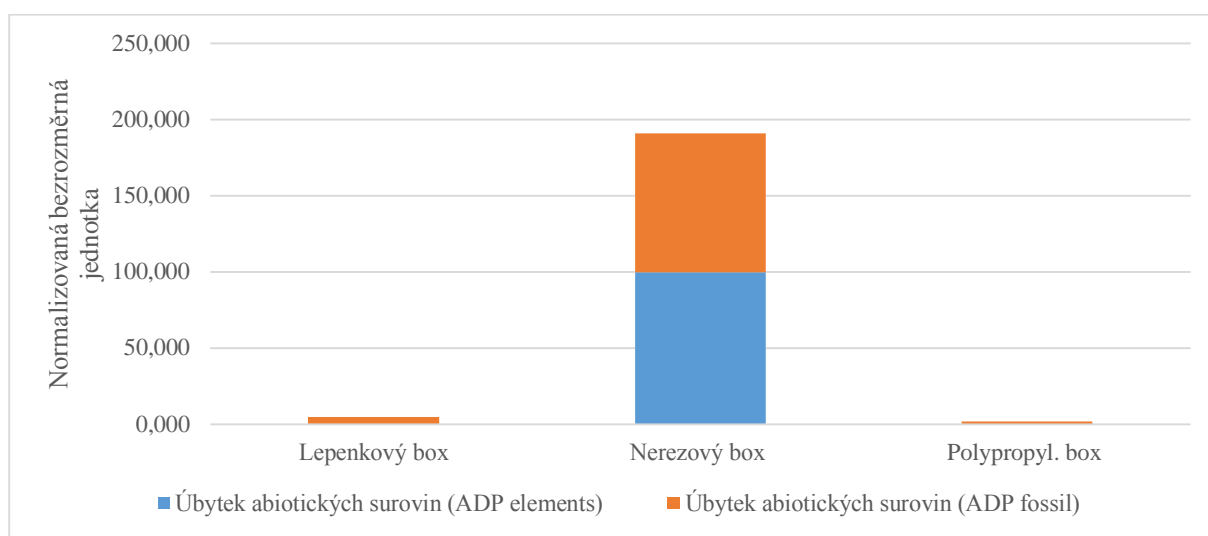
Tabulka 15 Charakterizační tabulka: Porovnání boxů 2. scénář, relativní hodnoty [%]

| Kategorie dopadu | Jednotka | Lepenkový box | Nerezový box | Polypr. box |
|---|------------------------------|---------------|--------------|-------------|
| Úbytek materiálových surovin (ADP elements) | [kg Sb-Equiv.] | 0,11 | 99,89 | 0,00 |
| Úbytek energetických surovin (ADP fossil) | [MJ] | 4,68 | 91,25 | 1,79 |
| Acidifikační potenciál (AP) | [kg SO ₂ -Equiv.] | 3,45 | 94,14 | 1,05 |
| Eutrofizační potenciál (EP) | [kg Phosphate-Equiv.] | 25,77 | 72,82 | 0,61 |
| Globální oteplování (GWP 100 years) | [kg CO ₂ -Equiv.] | 7,27 | 88,56 | 1,83 |
| Úbytek stratosférického ozónu (ODP) | [kg R11-Equiv.] | 71,22 | 28,78 | 0,00 |
| Vznik fotooxidantů (POCP) | [kg Ethene-Equiv.] | 18,78 | 77,53 | 1,61 |

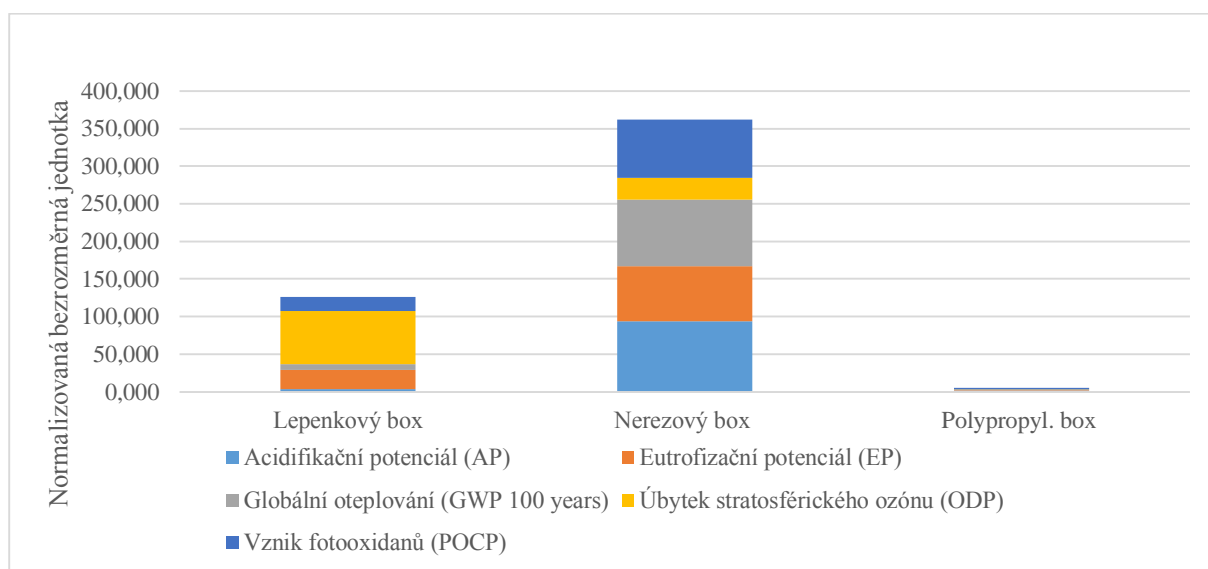
Normalizace

Z grafů a tabulek zobrazující výsledky normalizace je patrné, že i ve 2. scénáři, ve kterém jsou boxy srovnávány pouze na základě jejich životnosti, má polypropylénový box nejmenší dopad na životní prostředí a to ve všech posuzovaných kategoriích. Nerezový box má největší dopady na posuzované kategorie, vyjma kategorie úbytek stratosférického ozónu. V této kategorii má největší dopad box lepenkový. Lepenkový box představuje oproti polypropylenovému boxu

větší potenciál dopadu v kategoriích: úbytek abiotických (materiálových a energetických) surovin, neboť se na jeho výrobu spotřebovává více abiotických surovin. V důsledku vyšších emisí NOx (19,7%, 0,017 kg) a čpavku (75%, 0,0016kg) má vyšší acidifikační potenciál, eutrofizační potenciál vlivem větších emisí fosforu (71%, 9,82E-05kg) a dusíku (51%, 0,0016 kg) do sladké vody, globální oteplování vzhledem k vysokým emisím CO₂ (85%, 17,6 kg) způsobených změnou využití krajiny, např. při odlesňování. Dále má vyšší potenciál podílet se na vzniku fotooxidantů z důvodů vysokých emisí VOC (78 %, 0,0018 kg).



Obrázek 9 Normalizace, Porovnání boxů 2. scénář a.



Obrázek 10 Normalizace, Porovnání boxů 2. scénář b.

6.2. Projekt Remobil

Následující část se věnuje výsledkům jednotlivých scénářů modelujících projekt Remobil.

6.2.1. Scénář 1

Funkční jednotkou prvního scénáře je nakládání s 2 000 *EoL mobilními telefony v rámci pilotní fáze projektu Remobil*. Pro sběr telefonů bylo použito 43 polypropylénových a 19 lepenkových boxů. Během sběru boxů s mobilními telefony se osobním automobilem najelo 5 525 km.

Inventarizace

Nejprve byla provedena inventarizace dat, která poukázala na významné hodnoty. Největší množství emisí látek do ovzduší se uvolnilo vlivem dopravy (96,5 %, 14124 kg), nejvíce pak např. CO₂, CO, NH₃, HBr, Cl⁻, F⁻, NO. Až z 97,2 % se doprava podílí na uvolnění těžkých kovů do ovzduší. Doprava dále způsobila vysoké množství emisí vypuštěných do sladkých vod (72 %, 66 193 kg). Kovohutě disponují vysokým potenciálem emitovat těžké kovy do povrchových vod (64 %, 0,053 kg). Dále pak uvolňují vysoké množství emisí do zemědělsky využívané půdy (84 %, 0,0024 kg).

Tabulka 16 Inventarizační tabulka: Projekt Remobil , 1. scénář

| Fáze projektu Remobil | | Výroba boxů (kg) | Doprava (kg) | Mechanické drcení (kg) | Kovohutě (kg) |
|------------------------|--|------------------|--------------|------------------------|---------------|
| Elementární toky | | 28147 | 157964 | 22842 | 194330 |
| | Celkem | 13490 | 77350 | 11232 | 193842 |
| Využití zdroje | Energetické suroviny | 49,73 | 386,93 | 3,29 | 9,27 |
| | Materiálové suroviny | 13440 | 76963 | 11229 | 193832 |
| | Celkem | 322 | 14124 | 137 | 48 |
| Emise látek do ovzduší | Emise těžkých kovů | 1,91E-05 | 0,0007 | 5,63E-06 | 0,0003 |
| | Emise anorganických látek | 246,09 | 13968,50 | 103,12 | 48,37 |
| | Emise organických sloučenin (VOC) | 0,402 | 2,060 | 0,010 | 0,059 |
| | Ostatní emise | 75 | 153 | 34 | 0 |

| Fáze projektu Remobil | Výroba boxů (kg) | Doprava (kg) | Mechanické drcení (kg) | Kovohutě (kg) | |
|--|--------------------------------|-----------------|---------------------------|------------------|-------|
| Prachové částice (PM) | 0,020 | 0,050 | 0,001 | 0,027 | |
| Pesticidy | 1,18E-07 | 3,15E-05 | 1,21E-07 | 5,64E-09 | |
| Radioaktivní emise | 4,01E-07 | 2,77E-12 | 2,21E-13 | 1,78E-06 | |
| Celkem | 14223 | 66192 | 11432 | 439 | |
| Emise těžkých kovů | 0,016 | 0,011 | 0,004 | 0,053 | |
| Emise anorganických látel | 0,353 | 36,660 | 0,118 | 0,541 | |
| Emise látek do povrchových vod | Emise organických sloučenin | 0,021 | 0,684 | 0,003 | 0,003 |
| Ostatní emise | 12018 | 63671 | 11065 | 0 | |
| Prachové částice | 0,221 | 7,305 | 0,030 | 0,027 | |
| Radioaktivní emise | 2204 | 2476 | 367 | 425 | |
| Emise látek do mořských vod | 1,89 | 226,42 | 10,23 | 0,03 | |
| Emise látek do zemědělsky využívané půdy | 2,68E-06 | 0,0005 | -2,47E-06 | 0,0024 | |
| Emise látek do průmyslově využívané půdy | 0,0004 | 0,0003 | 0,0002 | 0,0018 | |

Hodnocení dopadů životního cyklu

V druhém kroku byly analyzovány potenciální dopady jednotlivých fází sběru mobilních telefonů. První tabulka předkládá absolutní hodnoty, zatímco druhá hodnoty relativní.

Tabulka 17 Charakterizační tabulka: Projekt Remobil I. scénář, absolutní hodnoty

| Kategorie dopadu | Jednotka | Výroba boxů | Doprava | Mechanic ké drcení | Kovohutě |
|---|-----------------------|----------------|----------|-----------------------|----------|
| Úbytek materiálových surovin (ADP elements) | [kg Sb-Equiv.] | 1,16E-05 | 6,83E-05 | 2,35E-06 | 8,46E-06 |
| Úbytek energetických surovin (ADP fossil) | [MJ] | 1787,51 | 16295,50 | 75,99 | 304,04 |
| Acidifikační potenciál (AP) | [kg SO2-Equiv.] | 0,230 | 2,007 | 0,009 | 0,111 |
| Eutrofizační potenciál (EP) | [kg Phosphate-Equiv.] | 0,034 | 0,320 | 0,001 | 0,053 |
| Globální oteplování (GWP 100 years) | [kg CO2-Equiv.] | 47,106 | 1225,663 | 6,087 | 48,880 |
| Úbytek stratosférického ozónu (ODP) | [kg R11-Equiv.] | 1,52E-06 | 8,31E-09 | 4,49E-11 | 3,46E-06 |
| Vznik fotooxidantů (POCP) | [kg Ethene-Equiv.] | 0,030 | 0,181 | 0,001 | 0,017 |

Tabulka 18 Charakterizační tabulka: Projekt Remobil 1. scénář, relativní hodnoty [%]

| Kategorie dopadu | Jednotka | Výroba boxů | Doprava | Mechanické drcení | Kovohutě |
|---|------------------------------|-------------|---------|-------------------|----------|
| Úbytek materiálových surovin (ADP elements) | [kg Sb-Equiv.] | 12,77 | 75,31 | 2,60 | 9,32 |
| Úbytek energetických surovin (ADP fossil) | [MJ] | 9,68 | 88,26 | 0,41 | 1,65 |
| Acidifikační potenciál (AP) | [kg SO ₂ -Equiv.] | 9,76 | 85,12 | 0,40 | 4,71 |
| Eutrofizační potenciál (EP) | [kg Phosphate-Equiv.] | 8,36 | 78,29 | 0,32 | 13,03 |
| Globální oteplování (GWP 100 years) | [kg CO ₂ -Equiv.] | 3,55 | 92,31 | 0,46 | 3,68 |
| Úbytek stratosférického ozónu (ODP) | [kg R11-Equiv.] | 30,43 | 0,17 | 0,00 | 69,41 |
| Vznik fotooxidantů (POCP) | [kg Ethene-Equiv.] | 13,16 | 78,92 | 0,41 | 7,51 |

Z výsledků je patrné, že doprava představuje významný dopad na životní prostředí v rámci sběru mobilních telefonů. Největší vliv má na kategorii úbytek energetických surovin (až 88 %), dále má vysoký acidifikační (85 %) a eutrofizační potenciál (78 %), vysoký dopad na globální oteplování (92 %) a potenciál vzniku fotooxidantů (79 %). Výroba boxů má vysoký dopad (30 %) na úbytek stratosférického ozónu, vznik fotooxidantů (13 %) a úbytek materiálových surovin (13 %). Jelikož hmotnost zpracovaných desek plošných spojů v rámci pilotního projektu Remobil byla relativně malá (146 kg), zahrnuje proces kovohutí znovuzískání velmi malého množství sekundárních kovů. Z tohoto důvodu způsobují kovohutě relativně malý dopad na životní prostředí v porovnání s ostatními fázemi sběru. Největší potenciál dopadu mají na úbytek stratosférického ozónu (69 %) a disponují vyšším eutrofizačním potenciálem (13 %). Nejmenší dopad na všechny posuzované kategorie dopadu zastává mechanické drcení elektroodpadu, jeho dopad se ve většině případů pohybuje pod 1 % v rámci celého schématu.

Tabulka 19 Ekotoxicita a toxicita: Projekt Remobil 1. scénář, absolutní hodnoty

| Kategorie dopadu | Jednotka | Výroba boxů | Doprava | Mechanické drcení | Kovohutě |
|--------------------------------------|----------|-------------|----------|-------------------|----------|
| Ekotoxicita sladkovodních ekosystémů | [CTUe] | 3,103 | 94,558 | 0,214 | 926,156 |
| Lidská toxicita - karcinogenní | [CTUh] | 8,43E-09 | 3,97E-07 | 1,99E-09 | 2,81E-06 |
| Lidská toxicita - nekarcinogenní | [CTUh] | 2,60E-06 | 4,26E-05 | 1,19E-07 | 4,25E-06 |

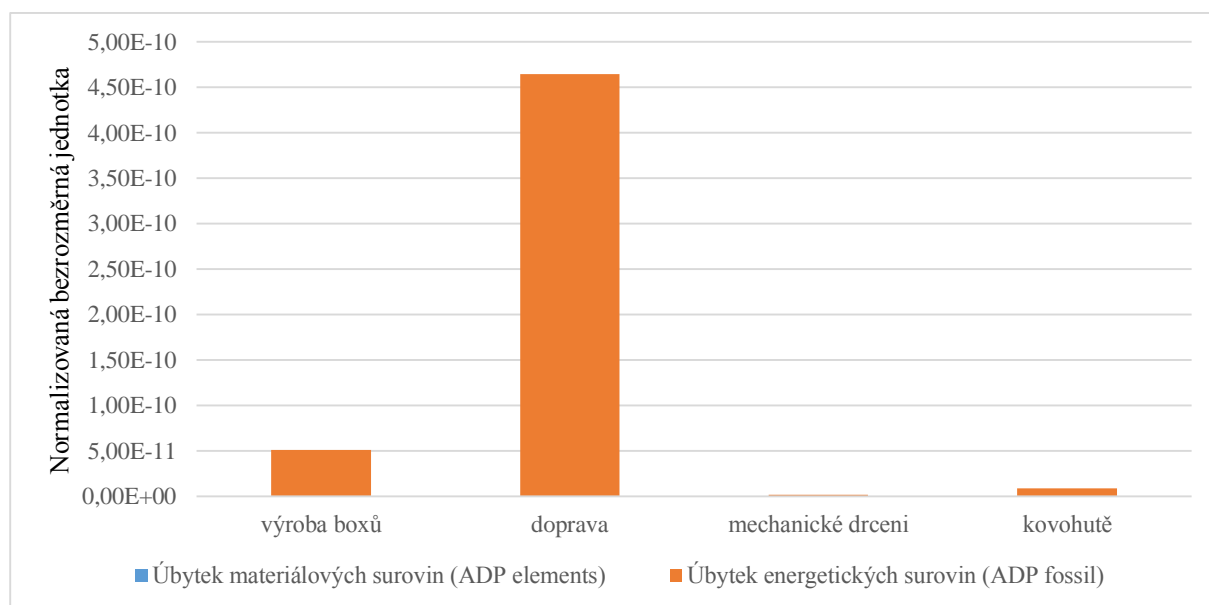
Tabulka 20 Ekotoxicita a toxicita: Projekt Remobil 1. scénář, relativní hodnoty [%]

| Kategorie dopadu | Jednotka | Výroba boxů | Doprava | Mechanické drcení | Kovohutě |
|--------------------------------------|----------|-------------|---------|-------------------|----------|
| Ekotoxicita sladkovodních ekosystémů | [CTUe] | 0,30 | 9,23 | 0,02 | 90,44 |
| Lidská toxicita - karcinogenní | [CTUh] | 0,26 | 12,35 | 0,06 | 87,33 |
| Lidská toxicita - nekarcinogenní | [CTUh] | 5,25 | 85,92 | 0,24 | 8,59 |

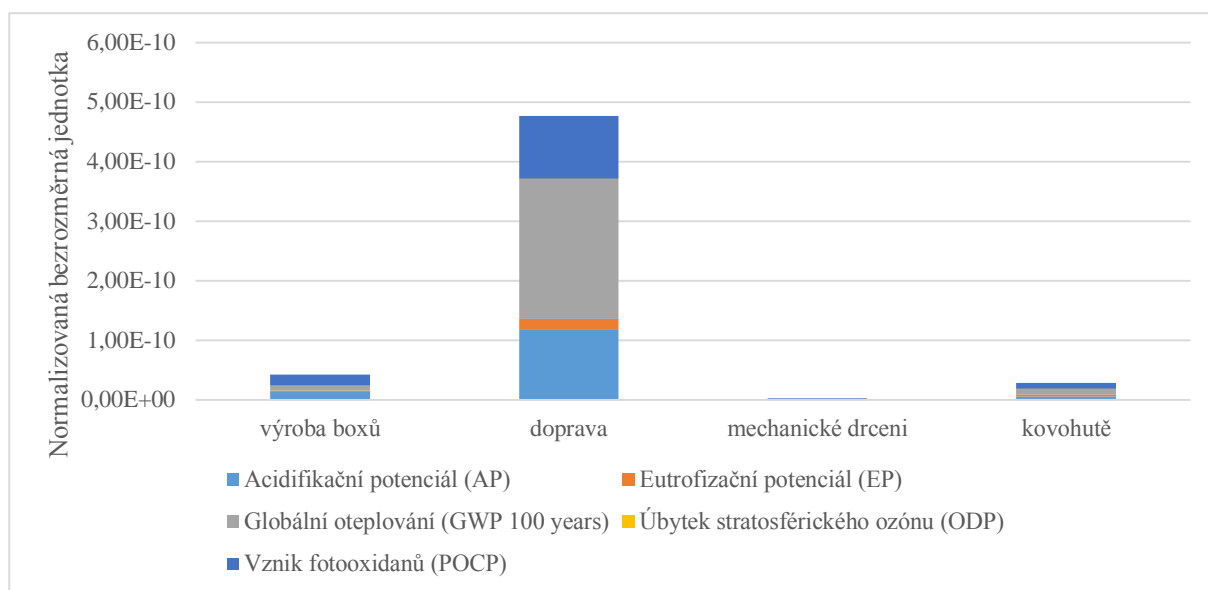
Z pohledu potenciálu lidské ekotoxicity - karcinogenní mají největší dopad kovohutě (87 %), z hlediska lidské toxicity - nekarcinogenní pak doprava (86 %). Taktéž největší dopad na ekotoxicitu sladkovodních ekosystémů způsobují kovohutě (90,4 %).

Normalizace

Z výsledků normalizace dat je patrné, že největší dopad v rámci sběru 2 000 mobilních telefonů má doprava. Výroba boxů má druhý největší dopad na životní prostředí, avšak je nutno dodat, že fáze výroby sběrných nádob v sobě nezahrnuje jejich recyklaci, která by dopad na životní prostředí zmírnila. Následuje proces recyklace kovů v kovohutích a mechanické drcení.



Obrázek 11 Normalizace: Projekt Remobil 1. scénář a.



Obrázek 12 Normalizace: Projekt Remobil 1. scénář b.

6.2.2. Scénář 2

V druhém scénáři je funkce i funkční jednotka stejná jako je u prvního scénáře. Jediným rozdílem oproti prvnímu scénáři je eliminace části dopravy, konkrétně 5 525 km najetých v rámci sběru sběrných boxů s mobilními telefony. Ostatní doprava zahrnující dovoz surovin, dopravu do kovohutí, aj. byly ponechána. Tento scénář zkoumá míru ovlivnění velikosti dopravy na schéma sběru. Jelikož je v rámci tohoto scénáře zásadní porovnání se základním scénářem, byla inventarizační tabulka a tabulka zobrazující hodnocení dopadů životního cyklu vynechána.

Hodnocení dopadů životního cyklu

Eliminace dopravy výrazně ovlivnila míru dopadu na životní prostředí oproti předchozímu scénáři. V tomto scénáři způsobuje poměrově větší dopad výroba sběrných boxů na životní prostředí v porovnání s celým schématem. Největší ovlivnění v rámci celého systému sběru má výroba boxů na kategorie vznik fotooxidantů (104 %⁸), úbytek materiálových surovin

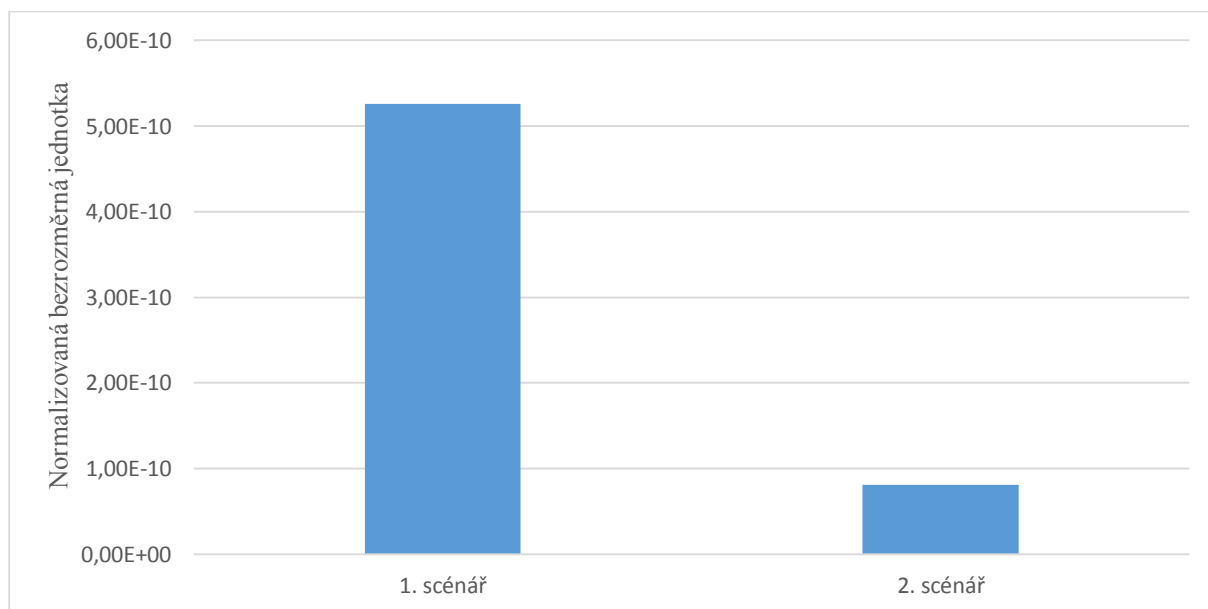
⁸ Jelikož je součet v rámci jedné kategorie roven 100 %, může se např. jedna fáze způsobovat 104 % dopadu, zatímco druhá fáze – 4 % díky recyklaci.

(45 %), dále disponují vysokým acidifikační (49 %) a eutrofizačním potenciálem (29 %). Proces recyklace sekundárních kovů v kovohutích má v tomto scénáři také větší váhu na kategorii dopadu, konkrétně na úbytek stratosférického ozónu (70 %), vznik fotooxidantů (59 %), úbytek materiálových surovin (33 %) a eutrofizační potenciál (32 %).

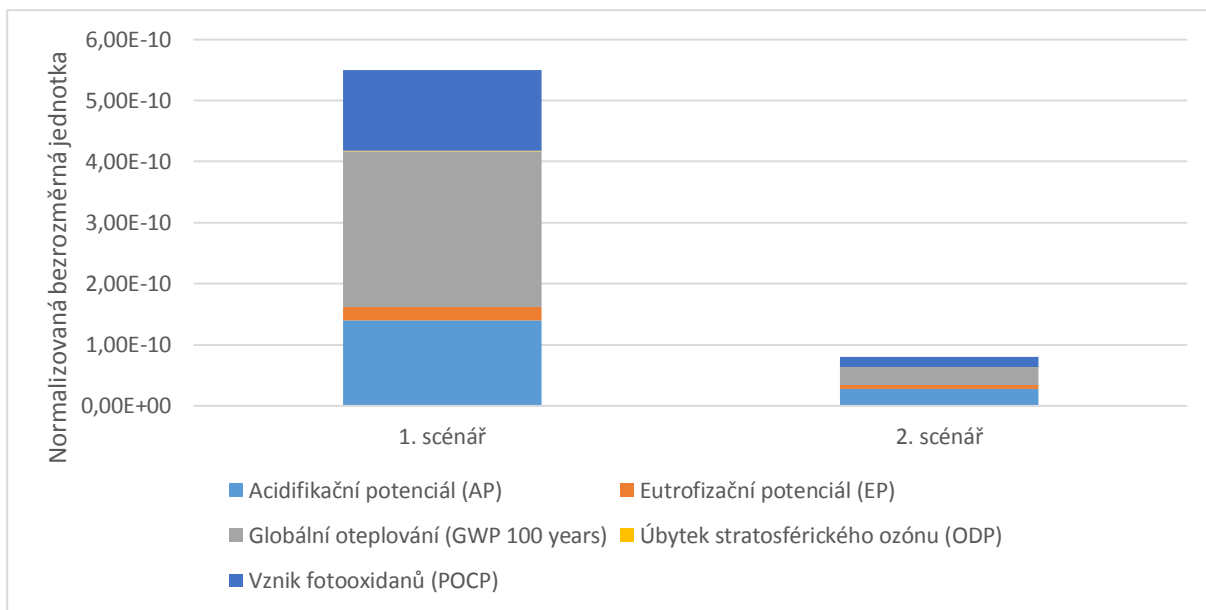
Normalizace

Pro srovnání 1. a 2. scénáře jsou normalizované výsledky následně porovnány. Obr. 13 představuje kategorie dopadu úbytek abiotických zdrojů, zatímco Obr. 14 ostatní kategorie dopadu.

Oproti prvnímu scénáři se potenciál environmentálního dopadu většiny kategorií snížil několikanásobně. Např. v kategorii úbytek abiotických surovin více jak 6,5 krát, potenciál acidifikace až 5 krát, eutrofizační potenciál až 3,5 krát, globální oteplování pak téměř 9 krát a potenciál vzniku fotooxidantů až 8 krát. Vliv dopravy na sběr mobilních telefonů je velmi významný.

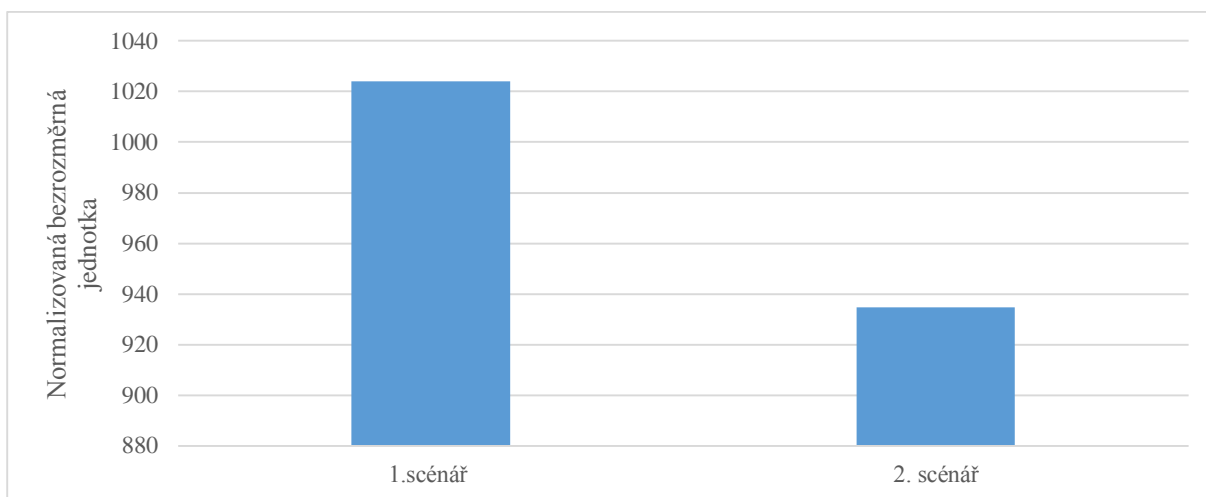


Obrázek 13 Porovnání dopadů 1. a 2. scénáře na úbytek energetických surovin



Obrázek 14 Porovnání dopadů 1. a 2. scénáře na ostatní kategorie dopadu

V následujícím grafu lze graficky porovnat rozdíly potenciálu ekotoxicity sladkovodních ekosystémů mezi 1. a 2. scénářem. Z těchto výsledků lze dedukovat, že míra dopravy významně ovlivňuje dopad na životní prostředí projektu Remobil.



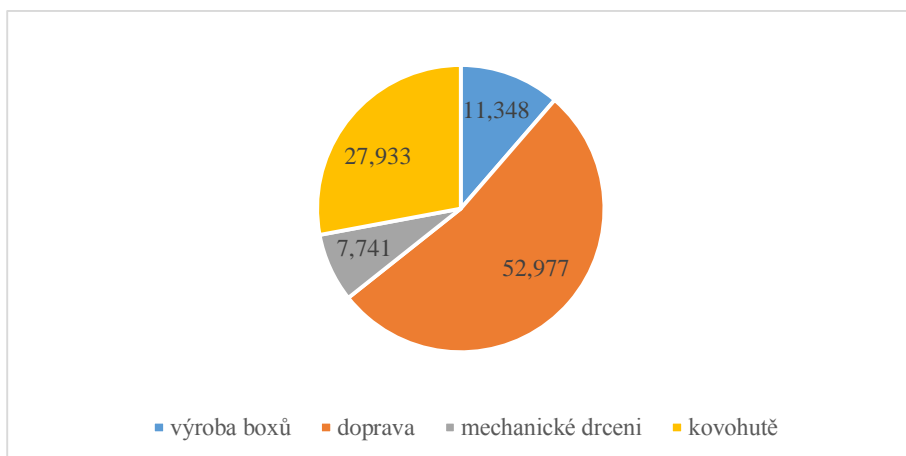
Obrázek 15 Porovnání potenciálu ekotoxicity sladkovodních ekosystémů 1. a 2. scénář

6.2.3. Scénář 3

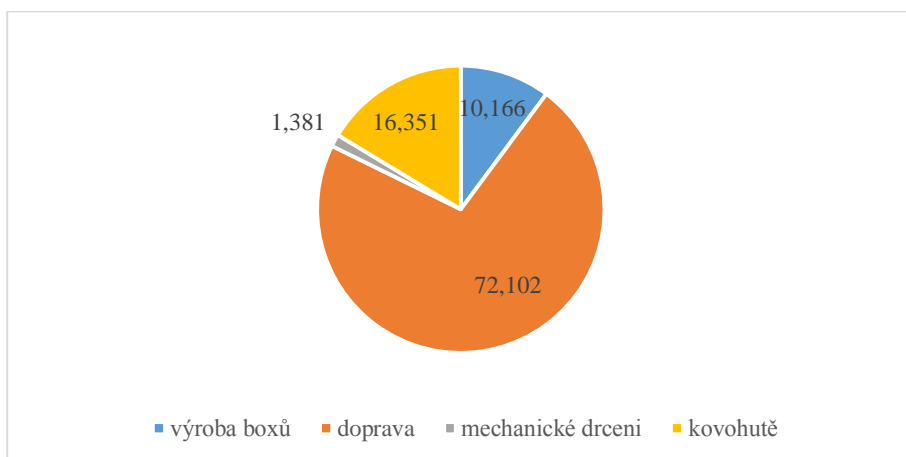
Poslední scénář posuzuje cílový sběr projektu - 10 000 mobilních telefonů. Předpokládá stejnou míru velikosti dopravy jako u základního scénáře.

Hodnocení dopadů životního cyklu

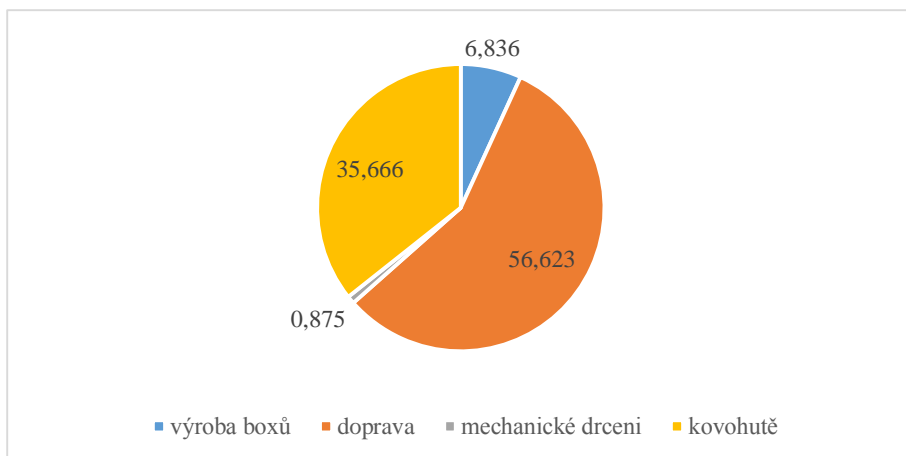
Z výsledků hodnocení dopadů na životní prostředí lze pozorovat stále vysoký dopad dopravy oproti celému schématu. Dopady dopravy jsou nejvýznamnější v kategoriích úbytek materiálových a energetických surovin (80 % a 53 %), globální oteplování (80 %), potenciálu acidifikace (72 %) a eutrofizace (57 %) a vzniku fotooxidantů (37 %). Významnější dopad má tomto scénáři získání sekundárních surovin v kovohutích. Největší dopad mají při úbytku stratosférického ozónu (89 %), vzniku fotooxidantů (37 %), potenciálu eutrofizace (36 %) a úbytek abiotických surovin (28 %). Dopady výroby sběrných boxů, kterých je oproti předcházejícím scénářům o polovinu více, se pohybují průměrně na 10 % potenciálech dopadů.



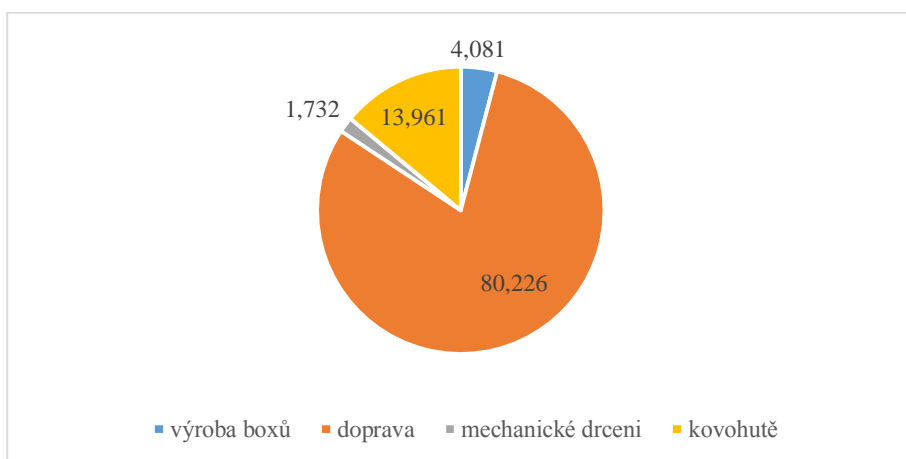
Obrázek 16 Úbytek materiálových surovin 3. scénář [%]



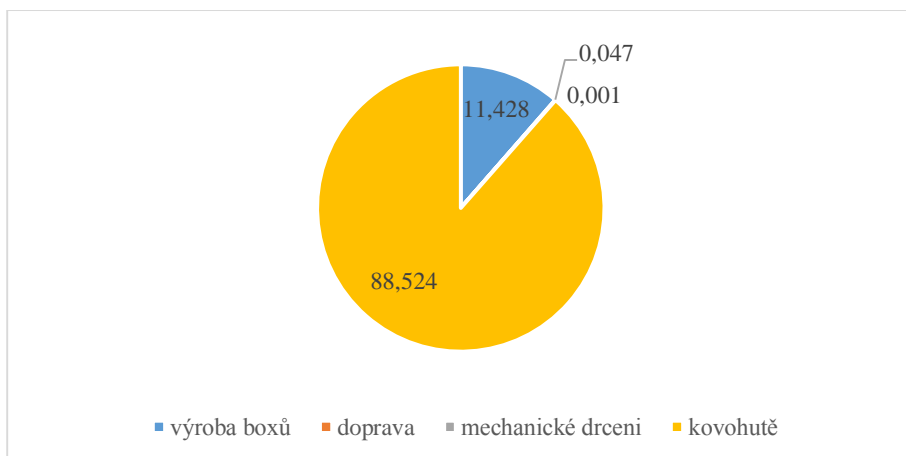
Obrázek 17 Acidifikační potenciál 3. scénář [%]



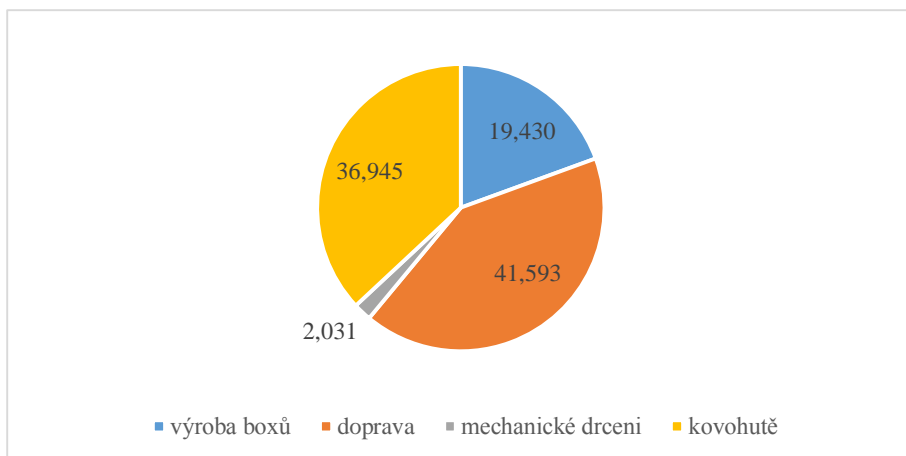
Obrázek 18 Eutrofizační potenciál 3. Scénář [%]



Obrázek 19 Globální oteplování 3. Scénář [%]



Obrázek 20 Úbytek stratosférického ozónu 3. Scénář [%]



Obrázek 21 Vznik fotooxidantů 3. scénář [%]

6.3. Získání primárních surovin a porovnání s projektem Remobil

Další kapitola se zabývá porovnáním environmentálních dopadů získání stejného množství primárních surovin, jako je v rámci projektu Remobil recyklováno s dopady projektu (1. scénář).

Hodnocení dopadů životního cyklu

Z výsledků charakterizační tabulky je patrný významný environmentální dopad získání primárního zlata, který dominuje téměř ve všech kategoriích dopadu, nejvíce při úbytku abiotických surovin, eutrofizačním potenciálu a úbytku stratosférického ozónu.

Tabulka 21 Charakterizační tabulka: Získání primárních surovin, absolutní hodnoty

| Kategorie dopadu | Jednotka | Měď | Zlato | Olovo | Nikl | Palladium | Stříbro |
|---|------------------------------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|
| Úbytek materiálových surovin (ADP elements) | [kg Sb-Equiv.] | 0,154 | 2,547 | 0,003 | 0,000 | 0,005 | 0,285 |
| Úbytek energetických surovin (ADP fossil) | [MJ] | 858,9 | 10513,7 | 15,5 | 178,9 | 867,8 | 1724,7 |
| Acidifikační potenciál (AP) | [kg SO ₂ -Equiv.] | 0,385 | 7,360 | 0,040 | 15,822 | 74,752 | 2,618 |
| Eutrofizační potenciál (EP) | [kg Phosphate-Equiv.] | 0,031 | 47,815 | 0,000 | 0,054 | 0,262 | 3,226 |
| Globální oteplování (GWP 100 years) | [kg CO ₂ -Equiv.] | 67,403 | 812,027 | 1,499 | 14,611 | 70,883 | 155,566 |
| Úbytek stratosférického ozónu (ODP) | [kg R11-Equiv.] | 7,87E-09 | 7,69E-05 | 7,09E-11 | 1,49E-06 | 7,18E-06 | 9,42E-06 |

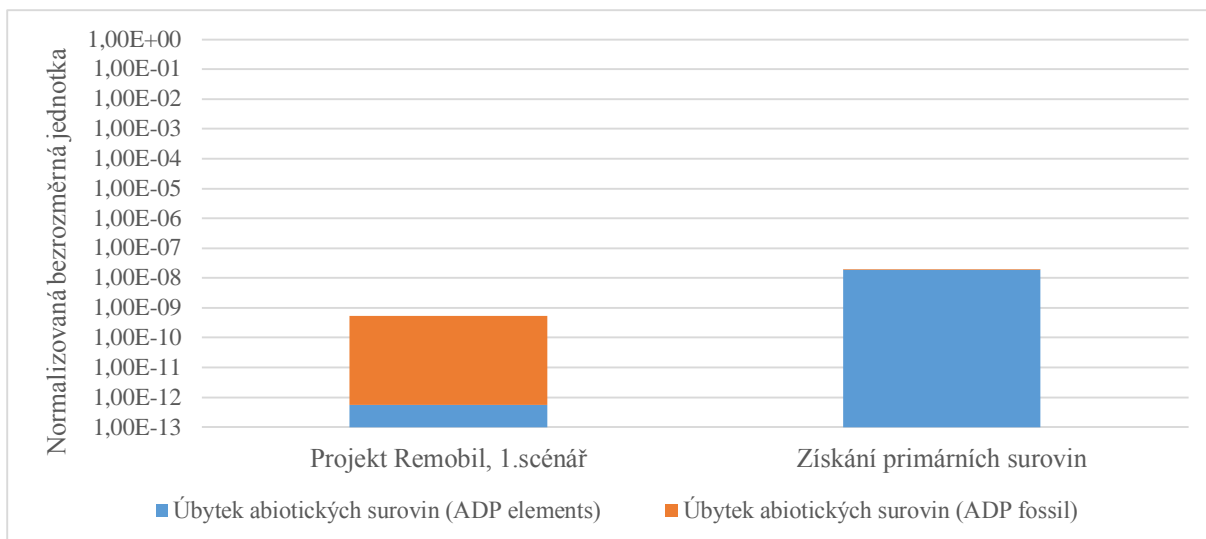
| Kategorie dopadu | Jednotka | Měď | Zlato | Olovo | Nikl | Palladium | Stříbro |
|---------------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-----------|---------|
| Vznik fotooxidantů (POCP) | [kg Ethene-Equiv.] | 0,027 | 0,808 | 0,002 | 0,635 | 3,001 | 0,186 |

Tabulka 22 Charakterizační tabulka: Získání primárních surovin, relativní hodnoty [%]

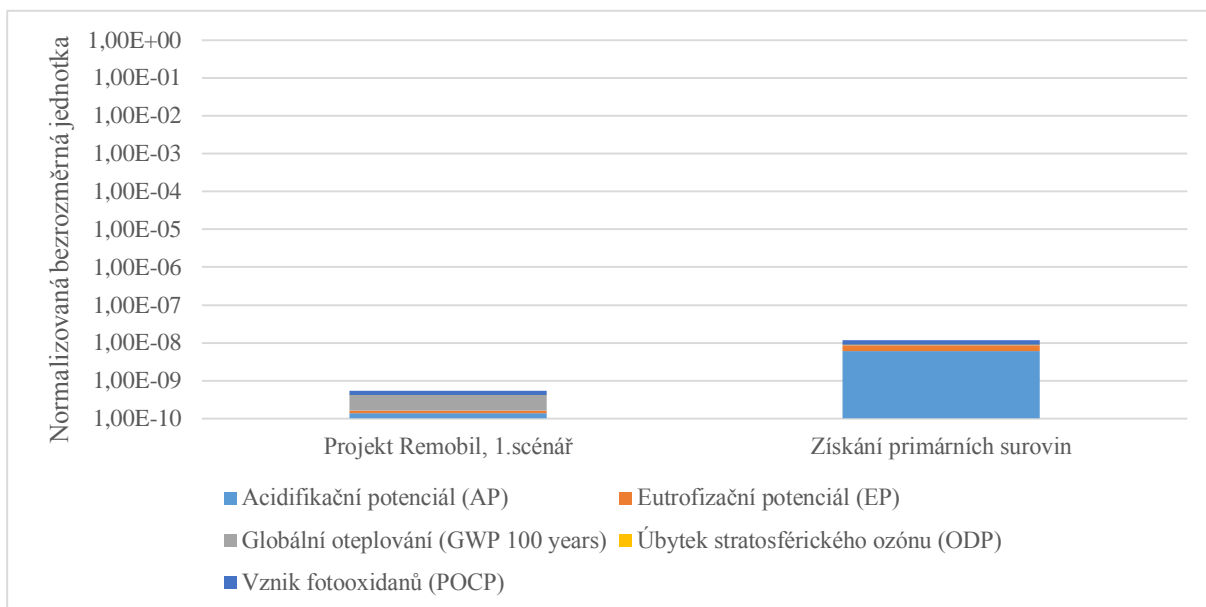
| Kategorie dopadu | Jednotka | Měď | Zlato | Olovo | Nikl | Palladium | Stříbro |
|---|------------------------------|------|-------|-------|-------|-----------|---------|
| Úbytek materiálových surovin (ADP elements) | [kg Sb-Equiv.] | 5,14 | 85,09 | 0,08 | 0,01 | 0,16 | 9,52 |
| Úbytek energetických surovin (ADP fossil) | [MJ] | 6,07 | 74,25 | 0,11 | 1,26 | 6,13 | 12,18 |
| Acidifikační potenciál (AP) | [kg SO ₂ -Equiv.] | 0,38 | 7,29 | 0,04 | 15,67 | 74,03 | 2,59 |
| Eutrofizační potenciál (EP) | [kg Phosphate-Equiv.] | 0,06 | 93,08 | 0 | 0,11 | 0,51 | 6,23 |
| Globální oteplování (GWP 100 years) | [kg CO ₂ -Equiv.] | 6,01 | 72,37 | 0,13 | 1,3 | 6,32 | 13,87 |
| Úbytek stratosférického ozónu (ODP) | [kg R11-Equiv.] | 0,01 | 80,95 | 0 | 1,57 | 7,55 | 9,92 |
| Vznik fotooxidantů (POCP) | [kg Ethene-Equiv.] | 0,58 | 17,33 | 0,04 | 13,63 | 64,42 | 3,99 |

Normalizace

Z normalizovaných porovnávaných výsledků je patrný rozdíl v dopadech projektu Remobil a získání ekvivalentního množství primárních surovin, kde je zřejmý několikanásobně větší dopad na životní prostředí. V kategorii úbytek abiotických surovin je rozdíl vysoký, neboť ten je způsoben využitím primárních zdrojů. Acidifikační potenciál je větší až 43 krát, eutrofizační potenciál až 126 krát, úbytek stratosférického ozónu 19 krát a vznik fotooxidantů až 20 krát. Zatímco dopad na životní prostředí je ve výše zmíněných kategoriích dopadu několikanásobně vyšší, ve dvou kategoriích má projekt Remobil potenciál dopadu vyšší. Jedná se o kategorie úbytek materiálových surovin (ADP fossil) a globální oteplování způsobené vysokou mírou dopravy v rámci projektu Remobil, kterým se budu věnovat v následující podkapitole.



Obrázek 22 Porovnání dopadu projektu Remobil a získání primárních surovin a.

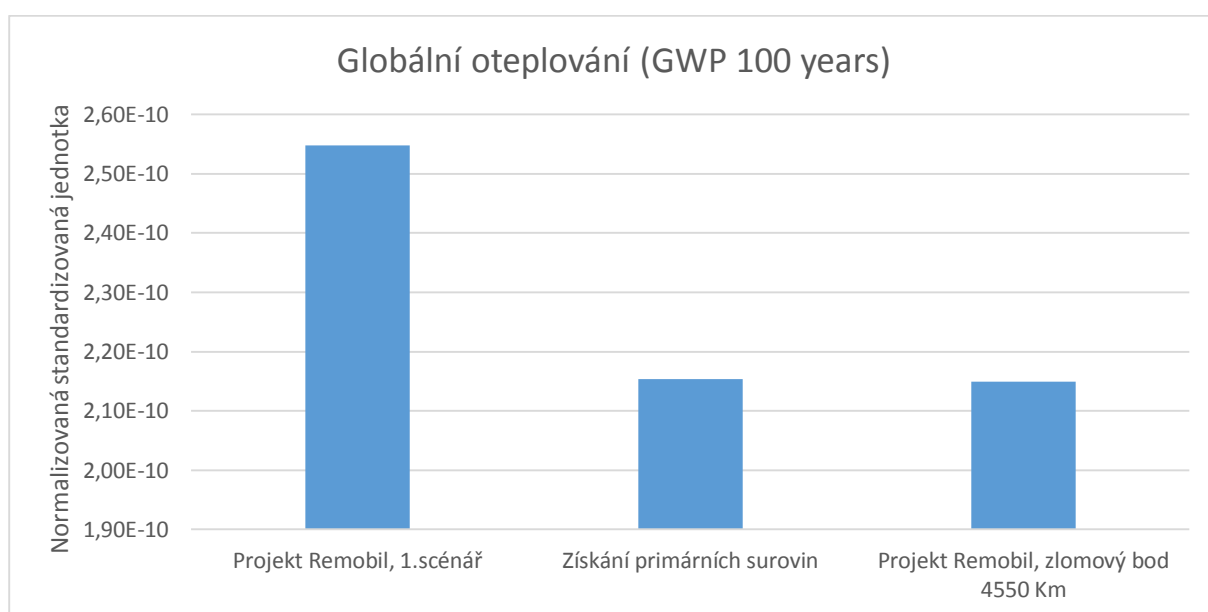


Obrázek 23 Porovnání dopadu projektu Remobil a získání primárních surovin b.

Závěrem lze říci, že dle výsledků má recyklace mobilních telefonů oproti získání primárních surovin mnohem menší dopad na posuzované kategorie dopadu (kromě dvou již zmíněných kategorií).

6.4. Zlomový bod pro dopravu

Ve všech sledovaných kategoriích dopadu má projekt Remobil menší dopad na životní prostředí než získání stejného množství primárních surovin, které se během projektu recyklovaly, vyjma dvou kategorií dopadu: globální oteplování a úbytek energetických surovin (ADP fossil). Obě kategorie jsou silně ovlivněné velikostí dopravy. Jelikož dopad na globální oteplování byl větší než v kategorii úbytek energetických surovin, pro hledání zlomového bodu pro dopravu použita právě kategorie globální oteplování.



Obrázek 24 Porovnání dopadů na globální oteplování.

Bylo zjištěno, že zlomový bod pro dopravu při sledování kategorie globální oteplování je 4 550 km. Bude-li doprava vyšší, získání primárních surovin bude mít menší dopad na tuto kategorii. Pro snížení dopadu na globální oteplování, by se měla velikost dopravy v rámci sběru mobilních telefonů snížit alespoň o 1/5, aby i tato kategorie měla menší dopad oproti dopadu získání primárních surovin.

7. DISKUSE

Modelování dopadů sběru mobilních telefonů na životní prostředí bylo provedeno standardním způsobem dle metodik ČSN EN ISO 14040:2006 (01 0940) a ČSN EN ISO 14044:2006 (01 0944). Jelikož je metoda LCA náročná na kvantitu a kvalitu vstupních dat, které jsou zároveň klíčové pro zpracování analýzy (Kočí, 2009), byl prvním a zároveň nejdůležitějším krokem získání dostatečného množství primárních dat ve vhodné podobě pro modelaci. Pokud data nebyla v přesném formátu, bylo potřeba data dopočítat. V případě chybějících dat bylo potřeba provést předpoklady, zjednodušení či absentující data nahradit zdroji z literatury. Tato fáze byla časově nejnáročnější, neboť data nebyla vždy snadno dostupná.

Druhým krokem bylo vytvoření modelů pro každý produktový systém v softwarovém prostředí GaBi 6 a vložení dat. Následně bylo vytvořeno několik typů scénářů zjednodušeně modelující realitu s různými obměnami. Na základě inventarizace byly výsledky charakterizovány a normalizovány. Výstupem byly srovnání scénářů na základě kategorií dopadu, jež jsou zpracovány v grafické podobě. Pro posuzování dopadu bylo vybráno 10 kategorií dopadu, neboť není možné identifikovat pouze jednu či více kategorií, které by reprezentativně a komplexně vystihly environmentální dopad systému. Pokud by některé kategorie nebyly zahrnuty do analýzy, došlo by k zjednodušení a výsledky by nemusely být úplné (Moberg et al., 2014).

První z cílů diplomové práce bylo určit sběrný box, který má nejmenší dopady na životní prostředí. Posuzované boxy byly z polypropylénu, lepenky a z nerezové oceli. Výsledky této analýzy mohou ovlivnit budoucí použití nádob pro sběr elektroodpadu a mohou tak optimalizovat dopady vznikající samotným sběrem. Dle výsledků 1. scénáře, který posuzoval boxy z hlediska jejich životnosti a objemu, měl nejmenší dopad na životní prostředí polypropylénový box, zatímco výrazně největší dopad měl box z nerezové oceli.

Následoval box z lepenky, který měl oproti polypropylenovému boxu vyšší dopady na všechny kategorie, nejvíce na úbytek stratosférického ozónu, eutrofizační potenciál a vznik fotooxidantů. Porovnání sběrných boxů se věnoval také Albrecht et al. (2013), který ve své studii představil porovnání boxů z polypropylénu a lepenky. Závěry zmíněné studie se shodují se závěry této studie. Nejméně emitovaných emisí CO₂ je způsobeno při výrobě polypropylenového boxu. Vysoké hodnoty emisí látek vypuštěných do vody a do vzduchu způsobující vysoký eutrofizační potenciál u lepenkového boxu jsou způsobeny výrobou vysoce kvalitních typů papírových vláken, která je náročná na spotřebu energie a použití chemických aditiv. Ačkoliv má papírenský průmysl vysokou míru recyklace, na výrobu vysoce kvalitní lepenky je potřeba z 80 % primární suroviny. Pokud by bylo použito více sekundárních vláken na výrobu vlnité lepenky, dopad výroby lepenkového boxu by byl menší (Albrecht et al., 2013). Plastový box má nejmenší dopady ve všech posuzovaných kategoriích dopadu a výsledky se tak shodují s výše zmíněnou studií. Polypropylén je vyroben z neobnovitelné suroviny, avšak mezi jeho výhody patří snadná recyklace, u spalování kontrolovaným způsobem produkují pouze CO₂ a vodu a přirozeně se rozkládá působením UV záření (Fries, 2013).

Výsledky 2. scénáře, hodnotící pouze životnost boxů, nepřinesly nová zjištění. Výroba nerezového boxu je zejména náročná na výrobu nerezové oceli. Pro sběr malého elektroodpadu a pro častý svoz je nerezový box nevhodný z hlediska jeho velikosti a váhy, a proto se využívá pouze pro statické umístění. Rives et al. (2010) ve své studii porovnával pomocí metody LCA plastové (HDPE - polyethylenové) a nerezové kontejnery na sběr komunálního odpadu. Jednalo se o kontejnery s velkým objemem, od 60 - 2400 l. Avšak ve zmíněné studii byla porovnávány kontejnery s odlišnou funkční jednotkou (za jiným účelem), kdy byl kladen důraz na sběr a uchování velkého množství komunálního odpadu. Pro sběr a uchování komunálního odpadu měl nejmenší dopad na životní prostředí nerezový box o objemu 2400 l (Rives et al., 2010).

Výsledky této části práce mohly být ovlivněny kvalitou vstupních dat. Jelikož se jednalo ve většině případů o data z výroby, mohlo dojít k určitému zjednodušení také při odhadech a v použití předpokladů.

Dalšími cíli této práce bylo určit dopad na životní prostředí projektu Remobil společně s určením fáze, která má největší dopad na životní prostředí. Výsledky všech posuzovaných kategorií dopadu byly představeny v kapitole č. 6 v 1. scénáři. V rámci pilotní fáze projektu bylo vysbíráno 2000 MT. Největší množství telefonů bylo 6 – 7 let staré, vyrobené v letech 2009 - 2010. Tato data korespondují s výzkumem Poláka a Drápalové (2012), kteří odhadují průměrnou životnost telefonu v českých domácnostech na 7,99 let. Je nutno dodat, že opraveno a znovupoužito bylo 150 mobilních telefonů. Environmentální „prospěšnost“ těchto telefonů není do studie započítána stejně jako recyklace baterií a krytů telefonů. Lze tedy říci, že dopady projektu Remobil nejsou plně vyčísleny a mohou být výše zmíněnými fakty nadhodnoceny.

Největší dopad má systém sběru mobilních telefonů na kategorie dopadu globální oteplování, vznik fotooxidantů a acidifikační potenciál. Nejvíce se na všech zmíněných kategoriích podílí doprava (až z 92,3 %), která zastává celkově největší dopad na většinu kategorií dopadu. Velikost dopravy najeté v rámci sběru telefonů během pilotní fáze Remobilu je velmi vysoká, neboť pro 2 000 mobilních telefonů, tzn. 146 kg desek plošných spojů, bylo najeto 5525 km. Ostatní studie posuzující dopady sběru elektroodpadu na životní prostředí s takto velkou dopravou z místa sběru na místo, kde se elektroodpad shromažďuje, nepočítají. Dle výsledků projektu Remobil bylo v průměru potřeba ujet 2,76 km pro jeden mobilní telefon o váze 103,2 g (27,59 km pro 1 kg EoL MT). Studie sběru elektroodpadu ve Švýcarsku (Hischier et al., 2005) počítá s průměrnou dopravou 42,75 km, bohužel neuvádí průměrné množství vysbíraného elektroodpadu v jedné odvezené várce. Další studie posuzující sběr osobních počítačů v Belgii (Van Eygen et al., 2015) uvádí průměrnou dopravu 40 km, kdy průměrná váha odvezeného PC zařízení 28,29 kg (stolní počítač, LCD monitor, klávesnice a myš).

Což znamená, že během projektu Remobil bylo ujetu přibližně 39 x více kilometrů v přepočtu na hmotnost odvezeného elektroodpadu. Dle Van Eygena et al. (2015) způsobuje doprava až 19 % všech dopadů. Dopravou elektroodpadu (konkrétně ledničky) a jejího dopadu se také zabýval Salhofer et al. (2007). V této studii se kalkulovalo se svozovou vzdáleností (ze sběrného místa na místo, kde se odpad shromáždí) 2,1 km a v rámci systému sběru pak 410 km na jednu ledničku s průměrnou hmotností 50 kg. Výsledky ukázaly, že doprava se podílí z 2 - 26 % na kategoriích dopadu.

Dle výsledků této práce bylo zjištěno, že limitní počet najetých kilometrů v rámci sběru z firem na místo, kde se elektroodpad shromažďuje, by měl být redukován. Pro určení zlomového bodu pro dopravu byla použita velikost environmentálních dopadů na životní prostředí procesů získání primárních surovin. Z hlediska porovnání nejvíce zasažené kategorie – globální oteplování – bylo vypočten zlomový bod 4550 km pro celý projekt Remobil, tzn. 22 km na 1 kg MT. Dle výzkumu Barba-Gutiérrez et al. (2008), který se zaměřil na zlomové body pro dopravu elektroodpadu, je pro recyklaci osobního počítače v rámci kategorie dopadu acidifikace a eutrofizace 326 km, z hlediska využití fosilních paliv pak 391 km. Porovnání sběru velkého elektroodpadu, jakým je osobní počítač, se sběrem malého elektroodpadu není úplně kompatibilní. Neboť obecně úspěšnost sběru velkého elektrozařízení je mnohem vyšší než u malého elektrozařízení, jakým je např. mobilní telefon (Barba-Gutiérrez et al., 2008).

Jelikož se však jednalo o pilotní fázi projektu Remobil, předpokládá se do budoucna výrazné snížení a zefektivnění dopravy. Možnostem, jak minimalizovat dopravu v rámci sběru elektroodpadu, se již zabývalo mnoho autorů (Salhofer et al., 2007; Gamberini et al., 2009; Gamberini et al., 2010; Król et al., 2016). Optimalizace velikosti dopravy, zkrácení ujetých vzdáleností, redukce emisí spojených dopravou a v neposlední řadě snížení nákladů za dopravu je stěžejní pro sběr nejen elektro, ale i veškerého odpadu (Król et al., 2016). Gamberini et al.

(2009) navrhuje zefektivnění sběru odpadu např. pomocí geoinformačního systému (GIS). Król et al. (2016) představuje inovativní model sběru elektroodpadu pomocí umělé inteligence, kdy si obyvatelé sami - pomocí webových stránek, mobilních aplikací či klasicky pomocí telefonu - objednají svoz. Model svozu funguje na genetickém algoritmu, který optimalizuje svozovou trasu a počet potřebných aut.

Ve studii zabývající se environmentálními dopady sběru elektroodpadu ve Švýcarsku byl proces recyklace sekundárních materiálů v kovohutích identifikován za fázi s největšími environmentálními dopady (Hischier et al., 2005). Avšak každá studie LCA je specifická, zakládá se na jiných předpokladech, zahrnuje jiný produktový systém a pracuje s jinými metodikami. Proto může být vzájemné porovnání komplikovanější.

Další zkoumanou fází v rámci projektu Remobil byla mechanická demontáž a pyrometalurgické zpracování desek plošných spojů. Spotřeba energie u mechanické demontáže je dle Hischier et al. (2005) 38,2 kW/t, zatímco skartovací stroj použitý na skartování EoL MT v rámci Remobilu měl spotřebu vyšší, 55 kWh/t. Dle Navaza et al. (2013) je pro zpracování 1 tuny EoL MT potřeba okolo 7 568 MJ energie během pyrometalurgického procesu kombinovaného s metalurgickým.

Výsledky modelace kovohutí na základě již namodelovaných procesů získání sekundárních surovin z databázi Ecoinvent ukazují výrazné hodnoty u emisí toxických kovů a ekotoxicity. Dle Moberg (et al. 2014) počítá Ecoinvent s emisemi v dlouhodobé perspektivě (60 000 let), zatímco ostatní databáze pracují s kratší časovou perspektivou. Výsledky z databáze Ecoinvent tak mohou oproti ostatním databázím nadhodnocovat výstupy. Použití sekundárních dat z databází poskytuje komplexně namodelované procesy obsahující kompletní procesy, avšak v případě jejich použití na specifický případ, nemusí být jejich použití vždy ideální (Moberg et al., 2014). Jelikož však nebyla dostupná jiná kompletní data, byly vzhledem ke komplexnosti jednotlivých procesů, náročnosti rozsahu modelování použity databázové

procesy získání sekundárních surovin. Mohlo tak dojít k jistému zjednodušení, neboť namodelovaná fáze kovohutí se sestává z jednotlivých procesů získání dílčích kovů z databáze Ecoinvent a nezahrnuje proces znovuzískání kovů v kovohutích jako celek. Databázové procesy z Ecoinvent jako modelaci získání sekundárních surovin použil např. ve své studii Van Eygen et al. (2015). Avšak pro účely této práce považují použití databázových procesů získání druhotných surovin za dostačující.

V rámci této práce byla sledována recyklace desek plošných spojů, zatímco recyklace plastového krytu a baterie nebyla posuzována. Míra znovuzískání kovů z mobilních telefonů je 80 - 99 %⁹ a to konkrétně u mědi, zlata, stříbra, kovů platinové skupiny, niklu, olova, antimonu a cínu¹⁰ (Valero Navazo et al., 2013; Park a Fray, 2009; Brunori et al., 2015). Cena drahých kovů obsažených v MT pak stojí za 70 - 80 % celkové hodnoty (Cui a Zhang, 2008; Park a Fray, 2009). Při pilotní fázi projektu Remobil bylo získáno ze 146 kg desek plošných spojů 0,0438 kg zlata, 0,2044 kg stříbra, dále 18,3 kg mědi a 0,0073 kg palladia. Dle Vats a Singh (2015) deska plošných spojů obsahuje na 0,009 - 0,017 % zlata a 0,25 - 0,79 % stříbra. Podle výsledků studie Valero Navazo et al. (2013) recyklace desek plošných spojů mobilních telefonů pyrometalurgickým způsobem je získáno (po numerickém přepočtu na 146 kg PCB): 0,051 kg zlata, 0,53 kg stříbra, 18,7 kg mědi, 0,022 kg palladia. Výsledky získaných sekundárních surovin v rámci projektu se studií Valera Navaza víceméně shodují. Rozdílné je pouze množství získaného palladia, kterého je v rámci projektu Remobil získáno méně. Avšak každá várka elektroodpadu se může materiálově odlišovat, neboť telefon může obsahovat až 40 různých prvků či jejich sloučenin (Schluep et al., 2009). Materiálové složení závisí zejména na roku výroby, výrobcí a typu telefonu (Mobile Phone Working Group, 2012). Jelikož nebyly dostupné informace o znovuzískání množství niklu a olova, byla použita

⁹ Dle Parka a Fray (2009) je míra znovuzískání kovů okolo 96 %, konkrétně z 98% u stříbra, z 93% u palladia, z 97 % u zlata.

dostupná data z výše zmíněného výzkumu. Recyklace ostatní kovů nebyla dále sledovaná z důvodu rozsahu diplomové práce a z nedostatku dat, což opět mohlo způsobit podhodnocení přínosů projektu Remobil.

Model porovnání dopadů recyklace s dopady těžby a získání primárních surovin je v rámci LCA standardní způsob hodnocení studie (Hischier et al., 2005; Salhofer et al., 2007; Van Eygen et al., 2015). Ačkoliv drahé kovy představují velmi malou část ve složení telefonu, získávání těchto surovin představuje největší spotřebu energie, zejména jejich těžba, rafinace rud a následné zpracování (Singhal, 2005). Největší spotřebu energie má těžba zlata, palladia, stříbra a mědi. Průměrná energetická spotřeba při zisku primárních surovin na výrobu jednoho mobilu je 23 MJ (Yu et al., 2010). Přitom znovuzískání kovů a jejich recyklace má mnohem menší energetickou náročnost oproti těžbě a získání primárních surovin. Dle Cui a Forssberg (2003) je při recyklaci hliníku ušetřeno 95 % energie, u železa a oceli 74 %, u olova 65 % a u zinku 60 % a oproti energii potřebné pro získání primárních surovin. Recyklací mědi, která je převažujícím prvkem v telefonu, se dle Navaza et al. (2013) ušetří polovina potřebné energie při primární produkci kovu. Recyklace kovů představuje také výrazné úspory důlních a metalurgických odpadů, které s sebou primární těžba kovů přináší. Pro získání 1 tuny mědi je potřeba vytěžit 261 tun důlního odpadu, 145,3 tun rudy a je znečištěno na 127,5 m³ vody (Kippenberger, 2001 In Valero Navazo et al., 2013). Tzv. oběhové hospodářství je soudobým tématem na poli Evropské Unie s cílem omezit lineární nakládání s odpady. Recyklace surovin je důležitá nejen z environmentálního, ale také ze sociálního, ekonomického a politického hlediska (OECD Environment Directorate, 2010).

Ačkoliv každá recyklace s sebou přináší určité dopady na životní prostředí (Hischier et al., 2005), výsledky porovnání prokázaly výrazně menší environmentální dopad recyklace oproti dopadům získání primárních surovin ve většině sledovaných kategorií dopadu, stejně jako v jiných studiích (Hischier et al., 2005; Van Eygen et al., 2015) vyjma kategorií:

globální oteplování a úbytek energetických surovin (ADP fossil), jejichž dopad byl převážně způsoben vysokou mírou dopravy. Znovuzískání materiálů z již nepoužívaných MT a jejich recyklace tak může výrazně snížit materiálovou a energetickou spotřebu způsobenou primární produkcí surovin a omezit tak závislost na zdrojích (Valero Navazo et al., 2013).

8. ZÁVĚR

Diplomová práce hodnotí dopad projektu Remobil na životní prostředí pomocí metody LCA. Dále se zabývá porovnáním sběrných boxů, sleduje zlomový bod pro dopravu, do kterého je projekt environmentálně přínosný a porovnává recyklaci telefonů s náročností těžby primárních surovin.

Jelikož diplomová práce vychází z dat aktuálně probíhajícího projektu Remobil, je možné poznatky aplikovat do praxe. Jedním z výstupů této práce je doporučení snížení míry dopravy a její optimalizace. Dalším doporučením je používání polypropylénového sběrného boxu, z důvodu nejmenších dopadů na posuzované kategorie dopadu oproti jiným boxům. Výsledky potvrdily předpoklad, že významně větší dopad na životní prostředí způsobuje těžba a získání primárních surovin oproti dopadům celého projektu a recyklace sekundárních surovin.

Metoda LCA se ukázala jako vhodný nástroj pro modelování dopadů projektu Remobil. Jelikož je metoda náročná na kvantitu a kvalitu vstupních dat, bylo by vhodné pro zpřesnění výsledků získat obsáhlejší vstupní data. Nejvíce se nedostatek dat ukázal při modelaci získání sekundárních surovin v kovohutích. Z důvodu absence dat, složitosti procesů recyklace sekundárních surovin a rozsahu diplomové práce byly použity databázové procesy získání jednotlivých sekundárních kovů. Vzhledem ke zmíněným důvodům mohlo dojít k zjednodušení a podhodnocení této fáze modelace. Model nezahrnuje recyklaci baterií a krytu mobilních telefonů z důvodu nedostatku dat a rozsahu práce.

Pro zpřesnění daného modelu bych pro další výzkum doporučila detailnější propracování procesů získání sekundárních surovin a recyklaci baterií a krytu telefonů. Považuji témata zpětného odběru elektroodpadu, jeho optimalizaci a dopady za velmi důležité z environmentálního, sociálního i ekonomického hlediska. Dosavadní výzkum přinesl řadu zajímavých výstupů. Proto bych doporučila na danou tematiku navázat, neboť poskytuje rozsáhlý prostor pro další bádání.

9. ZDROJE

ALBRECHT, S., BRANDSTETTER, P., BECK, T. (2013): An extended life cycle analysis of packaging systems for fruit and vegetable transport in Europe. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 18(8), pp.1549–1567.

BACHÉR, J., MROTZEK, A., WAHLSTRÖM, M. (2015): Mechanical pre-treatment of mobile phones and its effect on the Printed Circuit Assemblies (PCAs). *Waste management*, 45(3), pp.235–45.

BARBA-GUTIÉRREZ, Y., ADENSO-DÍAZ, B., HOPP, M. (2008): An analysis of some environmental consequences of European electrical and electronic waste regulation. *Resources, Conservation and Recycling*, 52(3), pp.481–495.

BRUNORI, C., CAFIERO, L., DE CAROLIS, R., FONTANA, D., GUZZINATI, R., PIETRANTONIO, M., PUCCIARMATI, S., TORELLI, G., TRINCA, E., TUFFI, R. (2015): Innovative technologies for metals recovery and plastic valorization from electric and electronic waste: An integrated approach. *Environmental Engineering and Management Journal*, 14(7), pp.1553–1562.

BUEKENS, A., YANG, J. (2013): Recycling of WEEE plastics: a review. *Springer*, 16, pp.415–434.

CABALLERO, B. M., DE MARCO, I., ADRADOS, A., LÓPEZ-URIONABARRENECHEA, A., SOLAR, J., GASTELU, N. (2015): Possibilities and limits of pyrolysis for recycling plastic rich waste streams rejected from phones recycling plants. *Waste Management*, pp. 9.

CUI, J., FORSSBERG, E. (2003): Mechanical recycling of waste electric and electronic equipment: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 99(3), pp.243–263.

CUI, J., ZHANG, L. (2008): Metallurgical recovery of metals from electronic waste: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 158(2-3), pp.228–256.

- DAPONTE, P., DE VITO, L., PICARIELLO, F., RICCIO, M. (2014): State of the art and future developments of the Augmented Reality for measurement applications. *Measurement*, 57(9), pp.53–70.
- DIOUF, B., PODE, R., OSEI, R. (2015): Recycling mobile phone batteries for lighting. *Renewable Energy*, 78, pp.509–515.
- VAN EYGEN, E., DE MEESTER, S., DEWULF, J. (2015): Resource savings of urban mining: the case of desktop and laptop computers in Belgium. *Resources, Conservation & Recycling*, 107, pp.53–64.
- GAMBERINI, R., GEBENNINI, E., MANZINI, R., ZIVERI, A. (2010): On the integration of planning and environmental impact assessment for a WEEE transportation network—A case study. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(11), pp.937–951.
- GAMBERINI, R., GEBENNINI, E., RIMINI, B. (2009): An innovative container for WEEE collection and transport: details and effects following the adoption. *Waste management (New York.)*, 29(11), pp.2846–58.
- GUINÉE, J. (2002): *Handbook on Life Cycle Assessment Operational Guide to the ISO Standards*, Netherlands: Springer Netherlands.
- HISCHIER, R., WÄGER, P., GAUGLHOFER, J. (2005): Does WEEE recycling make sense from an environmental perspective? *Environmental Impact Assessment Review*, 25(5), pp.525–539.
- CHANCEREL, P., MESKERS, C., HAGELÜKEN, C., ROTTER, V. S. (2009): Assessment of precious metal flows during preprocessing of waste electrical and electronic equipment. *Journal of Industrial Ecology*, 13(5), pp.791–810.
- CHATTERJEE, S. (2012): Sustainable Electronic Waste Management and Recycling Process. *American Journal of Environmental Engineering*, 2(1), pp.23–33.

INTERNATIONAL PRECIOUS METALS INSTITUTE (2003):. Environmentally sound management used mobile telephones. *International Precious Metals Institute*, 1(1), pp.1–15.

KHALIQ, A., RHAMDHANI, M. A., BROOKS, G., MASOOD, S. (2014): Metal Extraction Processes for Electronic Waste and Existing Industrial Routes: A Review and Australian Perspective. *Resources*, (3), pp.152–179.

KOČÍ, V. (2009): *Posuzování životního cyklu Life Cycle assessment - LCA*, Chrudim: Ekomonitor spol. s.r.o., pp. 263.

KRÓL, A., NOWAKOWSKI, P., MRÓWCZYŃSKA, B. (2016): How to improve WEEE management? Novel approach in mobile collection with application of artificial intelligence. *Waste Management*, 50, pp.222–233.

LI, J., GAO, S., DUAN, H., LIU, L. (2009): Recovery of valuable materials from waste liquid crystal display panel. *Waste Management*, 29(7), pp.2033–2039.

LUO, C., LIU, CH., WANG., Y., LIU, X., LI, F., ZHANG, G., LI, X. (2011):. Heavy metal contamination in soils and vegetables near an e-waste processing site, south China. *Journal of Hazardous Materials*, 186(1), pp.481–490.

MARAGKOS, K.G., HAHLADAKIS, J.N., GIDARAKOS, E. (2013): Qualitative and quantitative determination of heavy metals in waste cellular phones. *Waste management (New York, N.Y.)*, 33(9), pp.1882–9.

MOBERG, Å., BORGGREN, C., AMBELL, C., FINNVEDEN, G., GULDBRANDSSON, F., BONDESSON, A., MALMODIN, J., BERGMARK, P. (2014): Simplifying a life cycle assessment of a mobile phone. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 19(5), pp.979–993.

NNOROM, I.C., OSIBANJO, O. (2009): Toxicity characterization of waste mobile phone plastics. *Journal of Hazardous Materials*, 161(1), pp.183–188.

PARK, Y.J., FRAY, D.J. (2009): Recovery of high purity precious metals from printed circuit boards. *Journal of Hazardous Materials*, 164(2-3), pp.1152–1158.

POLÁK, Miloš. *Materiálové toky a environmentální dopady malého elektroodpadu*. Praha, 2015. Dizertační práce. Univerzita Karlova v Praze.

POLÁK, M., DRÁPALOVÁ, L. (2012): Estimation of end of life mobile phones generation: the case study of the Czech Republic. *Waste management (New York)*, 32(8), pp.1583–91.

RIVES, J., RIERADEVALL, J., GABARRELL, X.. (2010): LCA comparison of container systems in municipal solid waste management. *Waste management (New York)*, 30(6), pp.949–57.

SALHOFER, S., SCHNEIDER, F., OBERSTEINER, G. (2007): The ecological relevance of transport in waste disposal systems in Western Europe. *Waste Management*, 27(8), pp. S47-S57.

SAWANISHI, H., TORIHARA, K., MISHIMA, N. (2015): A Study on Disassemblability and Feasibility of Component Reuse of Mobile Phones. *Procedia CIRP*, 26, pp.740–745.

SILVEIRA, A. V M, FUCHS, M. S., PINHEIRO, D. K., TANABE, E. H., BERTUOL, D. A.. (2015): Recovery of indium from LCD screens of discarded cell phones. *Waste Management*, 45, pp.334–342..

SILVEIRA, G.T.R., CHANG, S.Y. (2010): Cell phone recycling experiences in the United States and potential recycling options in Brazil. *Waste Management*, 30(11), pp.2278–2291.

SOHAILI, J., MUNIYANDI, S.K., MOHAMAD, S.S. (2012): A Review on Printed Circuit Board Recycling Technology. *Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences*, 3(1), pp.12–18.

SOO, V.K., DOOLAN, M. (2014): Recycling mobile phone impact on life cycle assessment.

Procedia CIRP, 15, pp.263–271.

SUCKLING, J., LEE, J. (2015): Redefining scope: the true environmental impact of smartphones? *The International Journal of Life Cycle Assessment*, pp.1181–1196.

ŠEBO, J., SVETLÍK, J., FEDORČÁKOVÁ, M., DOBRÁNSKY, J. (2012): The comparison of performance and average costs of robotic and human based work station for dismantling. *Acta Technica Corviniensis - Bulletin of Engineering*, 4, pp.67–70.

VALERO NAVAZO, J.M., VILLALBA MÉNDEZ, G., TALENS PEIRÓ, L. (2013): Material flow analysis and energy requirements of mobile phone material recovery processes. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 19(3), pp.567–579.

VATS, M.C., SINGH, S.K. (2015): Assessment of gold and silver in assorted mobile phone printed circuit boards (PCBs): Original article. *Waste management (New York)*, 45, pp.280–8.

WELFENS, M.J., NORDMANN, J., SEIBT, A. (2015): Drivers and barriers to return and recycling of mobile phones. Case studies of communication and collection campaigns. *Journal of Cleaner Production*, pp.1-14.

YADAV, S., YADAV, S. (2014): Investigations of metal leaching from mobile phone parts using TCLP and WET methods. *Journal of Environmental Management*, 144, pp.101–107.

YADAV, S., YADAV, S., KUMAR, P. (2014): Metal toxicity assessment of mobile phone parts using Milli Q water. *Waste Management*, 34(7), pp.1274–1278.

YIN, J., GAO, Y., XU, H. (2014): Survey and analysis of consumers' behaviour of waste mobile phone recycling in China. *Journal of Cleaner Production*, 65, pp.517–525.

YLÄ-MELLA, Jenni. *Environmental Impact of Mobile Phones: Material Content*. University of Oulu, Finland, 2008, pp.7. Dostupné také z:

https://www.researchgate.net/publication/264859583_Environmental_Impact_of_Mobile_Ph

nes_Material_Content.

YU, J., WILLIAMS, E., JU, M. (2010): Analysis of material and energy consumption of mobile phones in China. *Energy Policy*, 38(8), pp.4135–4141.

ZINK, T., MAKER, F., GEYER, R., AMIRTHARAJAH, R., AKELLA, V. (2014): Comparative life cycle assessment of smartphone reuse: Repurposing vs. refurbishment. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 19(5), pp.1099–1109.

Další zdroje

BIDDLE, M. (2012): *Because sustainability matters*, Richmond, Californie, USA, pp. 9. Dostupné z: <http://docplayer.net/14945859-Because-sustainability-matters.html>.

COULOMB, R., DIETZ, S., GODUNOVA, M., NIELSEN, T. B. (2015): Critical Minerals Today and in 2030: *An Analysis for OECD Countries*. OECD Environment Working Papers, (91), pp.50. Dostupné z: http://www.oecd-ilibrary.org/environment/critical-minerals-today-and-in-2030_5jrtknwm5hr5-en.

CROWE M, ELSER A., GÖPFERT B., MERTINS, L., MEYER, T., SCHMIED, J., SPILLNER, A., STRÖBEL, A. (2003): *Waste from electrical and electronic equipment (WEEE)*, pp. 80. Dostupné z: <http://www.resol.com.br/textos/Waste%20from%20electrical%20and%20electronic%20equipment%20part%201.pdf>.

Environmentální management - posuzování životního cyklu - požadavky a směrnice, ČSN EN ISO 14044: česká technická norma. Praha: Český normalizační institut, c2006

ČSÚ, 2014. Vybavenost domácností pevnou telefonní linkou a mobilním telefonem, pp.4. Dostupné z: https://www.czso.cz/documents/10180/23184355/2014_sru_a1.pdf/1f695a76-d318-4fda-a53e-092a29ca6b15.

Evropská komise, 2003. Zpráva Komise Evropskému parlamentu, Radě, Evropskému

hospodářskému a sociálnímu výboru a Výboru regionů o tematické strategii pro předcházení vzniku odpadů a jejich recyklaci, Brusel. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:52011DC0013&from=CS>.

Evropská komise, 2014. Sdělení Komise Evropskému Parlamentu, Radě, Evropskému a Sociálnímu Výboru a Výboru Regionů o přezkumu seznamu kritických surovin pro EU a o provádění iniciativy v oblasti surovin, Brusel. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:52014DC0297&from=CS>.

Evropský parlament a Rada, 2011. Směrnice Evropského Parlamentu a Rady 2011/65/EU ze dne 8. června 2011, o omezení používání některých nebezpečných látek v elektrických a elektronických zařízeních. In: Úřední věstník Evropské Unie L 174/88 CS. 1. 7. 2011. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32011L0065&from=CS>.

Evropský parlament a Rada, 2009. Směrnice Evropského Parlamentu a Rady 2009/125/ES ze dne 21. října 2009 o stanovení rámce pro určení požadavků na ekodesign výrobků spojených se spotřebou energie. In: Úřední věstník Evropské Unie L 285/10. 31. 10. 2009. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0125&from=cs>.

Evropský parlament a Rada, 2003. Směrnice Evropského Parlamentu a Rady ze dne 27. ledna 2003 o omezení používání některých nebezpečných látek v elektrických a elektronických zařízeních. In: Úřední věstník L 037. 13. 02. 2003. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32011L0065&from=CS>.

FRIES, P. (2013): *Environmental Report 2013*, Fiber Vision a.s., Varde, pp. 28. Dostupné z: <http://www.fibervisions.com/Repository/Files/EnvironmentalReport2013.pdf>.

HAGELUEKEN, C., THOMAS, C., CHERET, D., SALAME, F., RICE, G., STRAUS, G., SHIELDS, G., MARGETSON, G., CASTREN, H., SINCLAIR, I. (2009): *Mobile phone partnership initiative (MPPI)- Project 3.1: Guideline on Material Recovery and Recycling of*

End of Life Mobile Phones. *Basel Convention*, p.54. Dostupné z:

<http://archive.basel.int/industry/mppiwp/guid-info/guidmaterial.pdf>.

Integrovaný registr znečištění, Kadmium a sloučeniny (jako Cd). Dostupné z:

<http://www.irz.cz/node/63>.

Integrovaný registr znečištění, Olovo a sloučeniny (jako Pb). Dostupné z:

<http://www.irz.cz/node/74>.

International Telecommunication Union (2016): *ICT Data and Statistics Division*, Geneva,

Switzerland, pp.8. Dostupné z: [https://www.itu.int/en/ITU-](https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/facts/ICTFactsFigures2015.pdf)

[D/Statistics/Documents/facts/ICTFactsFigures2015.pdf](https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/facts/ICTFactsFigures2015.pdf).

Ministerstvo Životního prostředí, 2014. „Elektronovela zákona o odpadech“ – Stručný průvodce zákonem č . 184 / 2014 Sb ., kterým se mění zákon č . 185 / 2001 Sb ., o odpadech, Praha.

Dostupné z:

[http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/pruvodce_elektronovelou/\\$FILE/OODP-Strucny_pruvodce_elektronovelou-20141111.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/pruvodce_elektronovelou/$FILE/OODP-Strucny_pruvodce_elektronovelou-20141111.pdf).

Ministerstvo životního prostředí, 2016a. Provozovatelé kolektivních systémů se souhlasem pro zajištění financování nakládání s elektroodpady a s historickými elektrozařizeními, Praha.

Dostupné z:

[http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/kolektivni_systemy_oeez/\\$FILE/OODP-kontakty_kol_systemy-20150916.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/kolektivni_systemy_oeez/$FILE/OODP-kontakty_kol_systemy-20150916.pdf).

Ministerstvo životního prostředí, 2016b. Vybrané ukazatele odpadového hospodářství v oblasti odpadních elektrických a elektronických zařízení, Praha. Dostupné z:

[http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/odpadni_elektronicka_zarizeni_nakladani_cr/\\$FILE/OODP-vybrane_ukazatele_elektrozarizeni20160120.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/odpadni_elektronicka_zarizeni_nakladani_cr/$FILE/OODP-vybrane_ukazatele_elektrozarizeni20160120.pdf)

Ministerstvo životního prostředí, 2008. Zpětný odběr výrobků., pp.1. Dostupné z:

http://www.mzp.cz/cz/zpetny_odber_vyroby.

Mobile Phone Working Group (2012): *Basel Convention UNEP*, Geneva, pp.59. Dostupné z: <http://www.basel.int/Portals/4/download.aspx?d...MobilePhones>.

OECD Environment Directorate (2010): *OECD Global Forum On Environment Focusing on Sustainable materials management*, Belgium, pp.60. Dostupné z: <https://www.oecd.org/environment/waste/46133561.pdf>.

SINGHAL, P. (2005): *Integrated Product Policy Pilot Project Stage I Final Report : Life Cycle Environmental Issues of Mobile Phones*, Espoo, Finland. Pp.87. Dostupné z: http://ec.europa.eu/environment/ipp/pdf/nokia_mobile_05_04.pdf.

STREET, L. (2016): *Gold Demand Trends 2015*, London, pp.30. Dostupné z : <http://www.gold.org/supply-and-demand/gold-demand-trends>.

Thomson Reuters (2015): *World silver survey 2015 a summary*, London, pp. 12. Dostupné z: <https://www.silverinstitute.org/site/wpcontent/uploads/2011/06/WSS2015Summary.pdf>.

UNEP (2013): *Metal Recycling: Opportunities, Limits, Infrastructure, A Report of the Working Group on the Global Metal Flows to the International Resource Panel*. Reuter, M. A.; Hudson, C.; van Schaik, A.; Heiskanen, K.; Meskers, C.; Hagelüken, C. Dostupné z: http://www.unep.org/resourcepanel/Portals/24102/PDFs/Metal_Recycling_Full_Report.pdf.

SCHLUEP, M., HAGELUEKEN, C., KUEHR, R., MAGALINI, F., MAUER, C., MESKERS, C., ESTHER, M., FENG, W. (2009): *Recycling – From E-Waste to resources*, Berlin, pp.120, Dostupné z: http://www.unep.org/pdf/Recycling_From_e-waste_to_resources.pdf.

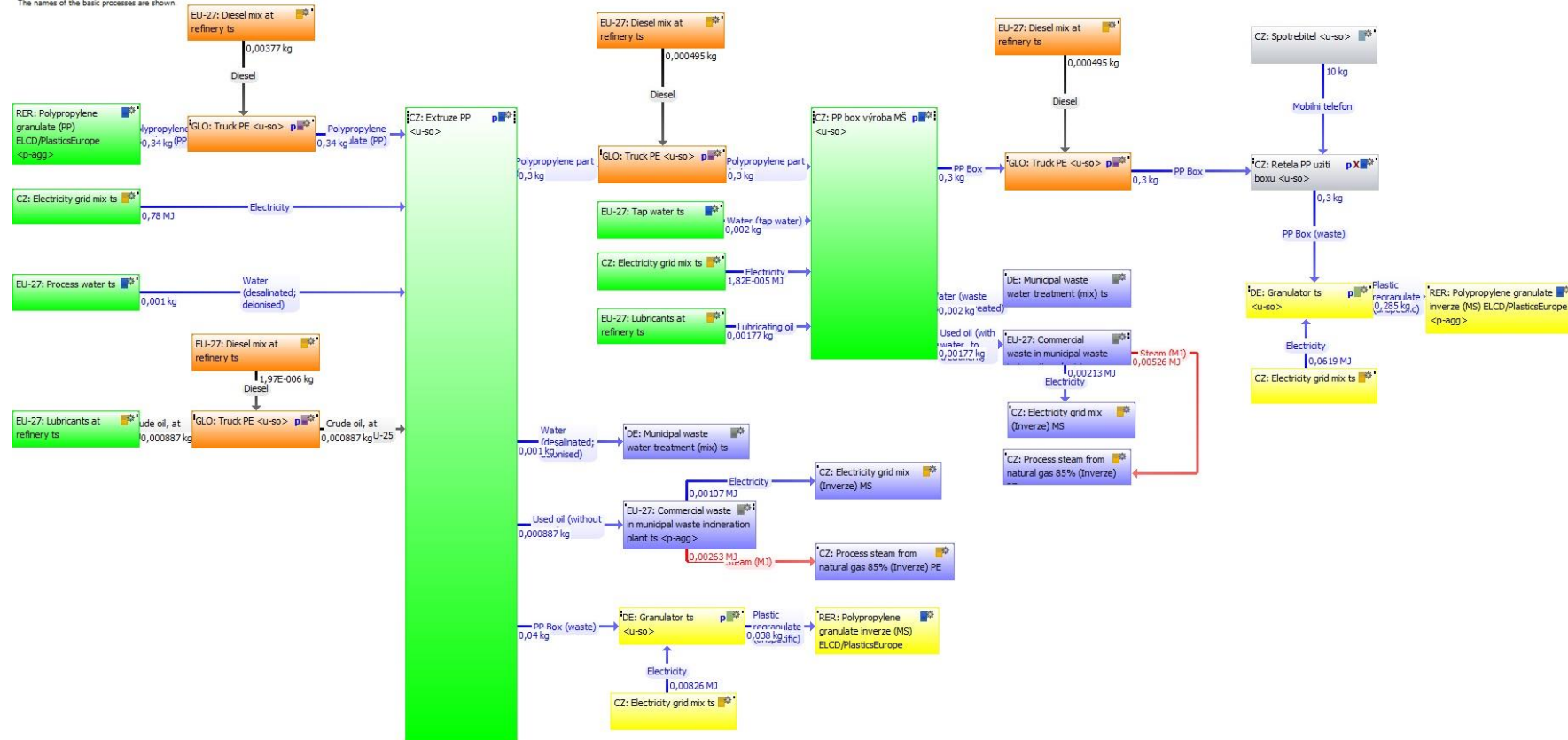
Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů. In: Sbíрка zákonů č. 71/2001. Dostupné z:

http://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/8FC3E5C15334AB9DC125727B00339581/%24file/Z%20185_2001.pdf.

10. PŘÍLOHY

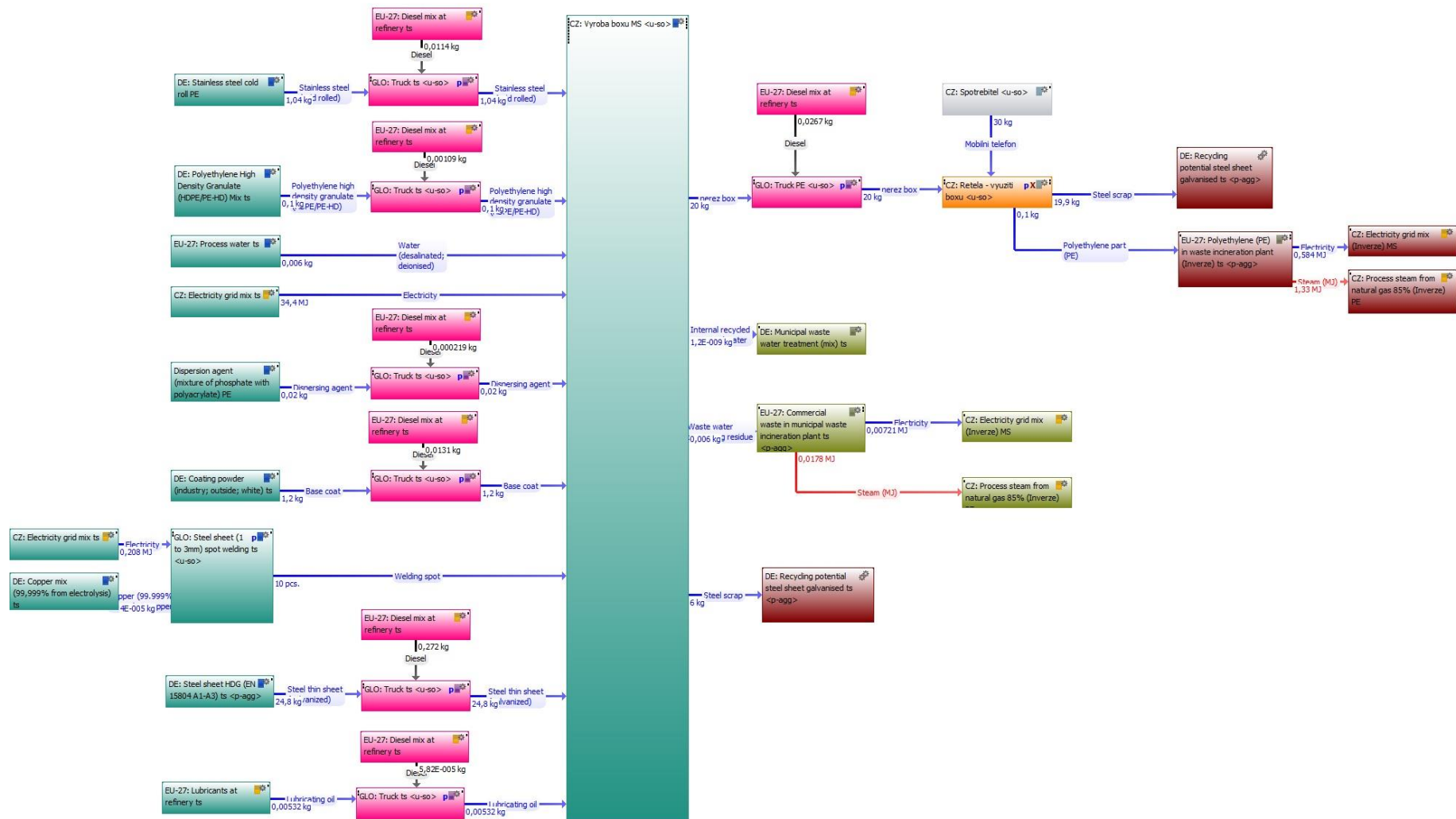
PP box

Process plan/Reference quantities
The names of the basic processes are shown.



Obrázek 25 Schéma životní cyklus polypropylénového boxu

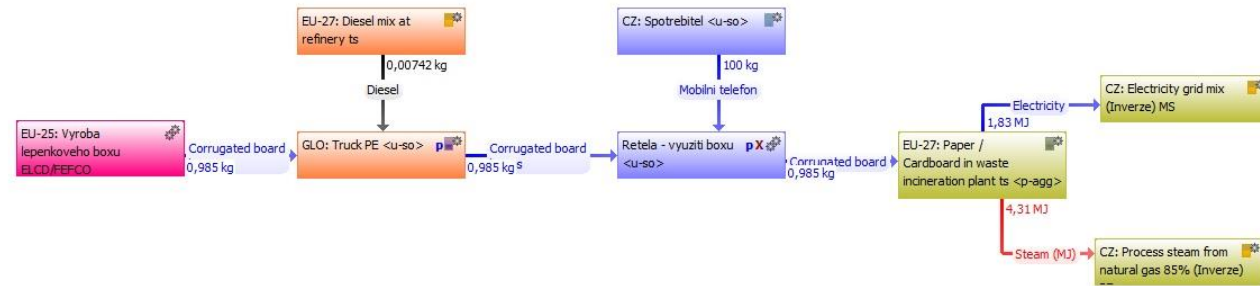
Nerez box
 Process plan: Reference quantities
 The names of the basic processes are shown.



Obrázek 26 Schéma životního cyklu nerezového boxu

Lepenkový box

Process plan: Reference quantities
The names of the basic processes are shown.

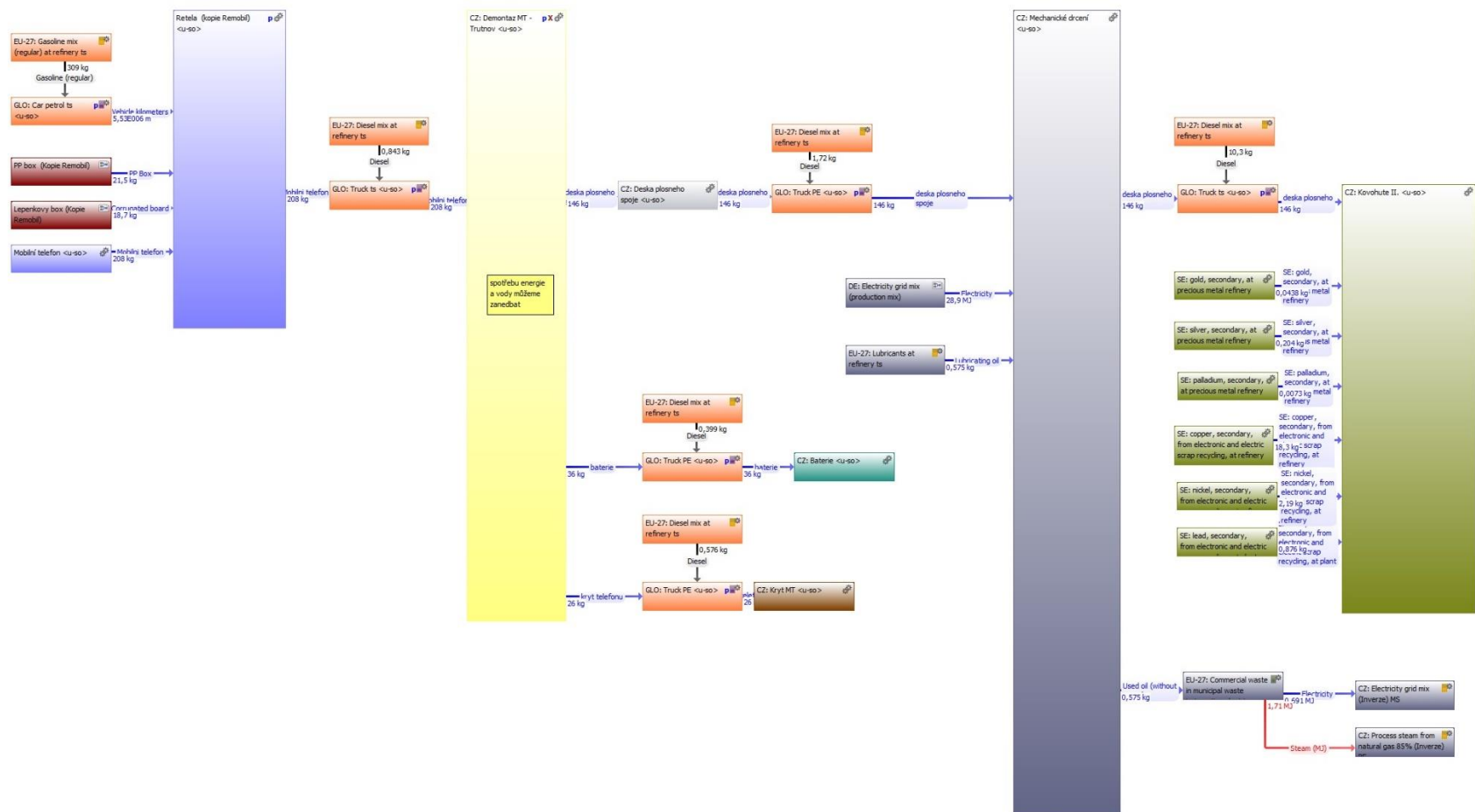


Obrázek 27 Schéma životného cyklu lepenkového boxu

Sběr mobilů

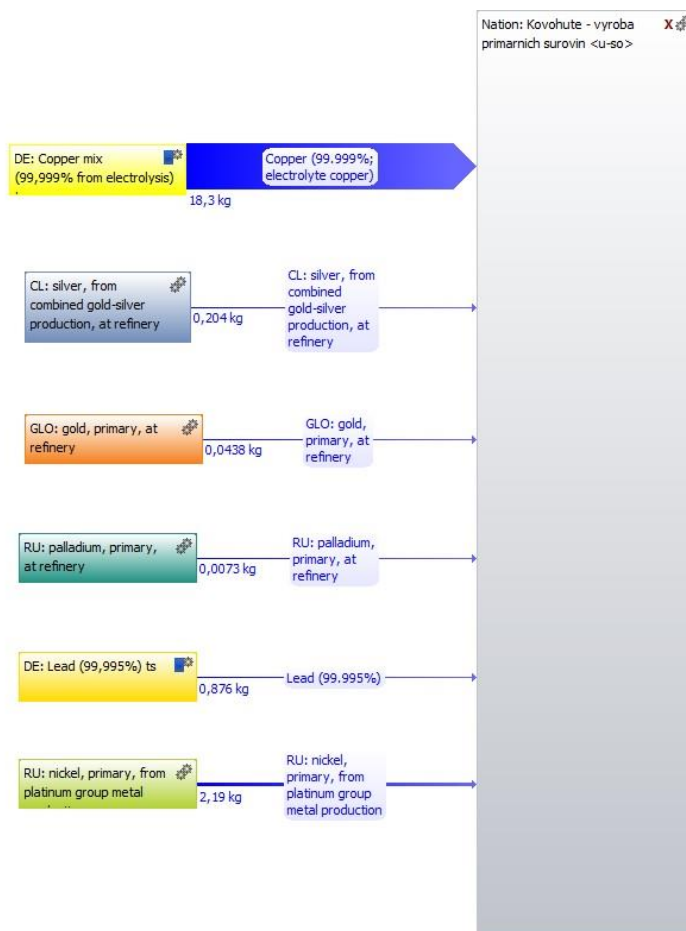
Process plan/Reference quantities
The names of the basic processes are shown.

amortizaci auta/muzeme zanedbat



Obrázek 28 Schéma projektu Remobil 1. scénář

Primarni suroviny
 Process plant: Mass [kg]
 The names of the basic processes are shown.



Obrázek 29 Schéma získání primárních surovin

SEZNAM PŘÍLOH

OBRÁZKY

| | |
|---|-----|
| Obrázek 1 Fáze metody LCA..... | 13 |
| Obrázek 2 Složení mobilního telefonu | 22 |
| Obrázek 3 Vybavenost českých domácností mobilním telefonem a pevnou linkou..... | 27 |
| Obrázek 4 Fáze projektu Remobil..... | 40 |
| Obrázek 5 Počet EoL mobilních telefonů dle roku výroby | 53 |
| Obrázek 6 Značky mobilních telefonů dle početnosti | 53 |
| Obrázek 7 Normalizace: Porovnání boxů 1. scénář a..... | 61 |
| Obrázek 8 Normalizace, Porovnání boxů 1. scénář b..... | 61 |
| Obrázek 9 Normalizace, Porovnání boxů 2. scénář a..... | 64 |
| Obrázek 10 Normalizace, Porovnání boxů 2. scénář b..... | 64 |
| Obrázek 11 Normalizace: Projekt Remobil 1. scénář a..... | 68 |
| Obrázek 12 Normalizace: Projekt Remobil 1. scénář b..... | 69 |
| Obrázek 13 Porovnání dopadů 1. a 2. scénáře na úbytek energetických surovin | 70 |
| Obrázek 14 Porovnání dopadů 1. a 2. scénáře na ostatní kategorie dopadu..... | 71 |
| Obrázek 15 Porovnání potenciálu ekotoxicity sladkovodních ekosystémů 1. a 2. scénář | 71 |
| Obrázek 16 Úbytek materiálových surovin 3. scénář..... | 72 |
| Obrázek 17 Acidifikační potenciál 3. scénář | 72 |
| Obrázek 18 Eutrofizační potenciál 3. Scénář..... | 73 |
| Obrázek 19 Globální oteplování 3. Scénář | 73 |
| Obrázek 20 Úbytek stratosférického ozónu 3. Scénář | 73 |
| Obrázek 21 Vznik fotooxidantů 3. scénář | 74 |
| Obrázek 22 Porovnání dopadu projektu Remobil a získání primárních surovin a..... | 76 |
| Obrázek 23 Porovnání dopadu projektu Remobil a získání primárních surovin b. | 76 |
| Obrázek 24 Porovnání dopadů na globální oteplování..... | 77 |
| Obrázek 25 Schéma životního cyklu polypropylénového boxu..... | 96 |
| Obrázek 26 Schéma životního cyklu nerezového boxu..... | 97 |
| Obrázek 27 Schéma životního cyklu lepenkového boxu..... | 98 |
| Obrázek 28 Schéma projektu Remobil 1. scénář | 99 |
| Obrázek 29 Schéma získání primárních surovin..... | 100 |

TABULKY

| | |
|---|----|
| Tabulka 1 Popis kategorií dopadu metodiky CML - IA..... | 17 |
| Tabulka 2 Materiálové složení mobilního telefonu..... | 23 |
| Tabulka 3 Nakládání s OEEZ 3. skupiny | 38 |
| Tabulka 4 Popis sběrných boxů | 43 |
| Tabulka 5 Porovnání sběrných boxů | 43 |
| Tabulka 6 Proces extruze polypropylénu | 45 |
| Tabulka 7 Proces výroby polypropylénového boxu..... | 45 |
| Tabulka 8 Proces výroby nerezového boxu..... | 49 |
| Tabulka 9 Inventarizační tabulka: Porovnání boxů, 1. scénář | 58 |
| Tabulka 10 Charakterizační tabulka: Porovnání boxů 1. scénář, absolutní hodnoty | 59 |
| Tabulka 11 Charakterizační tabulka: Porovnání boxů 1. scénář, relativní hodnoty | 59 |
| Tabulka 12 Ekotoxicita a toxicita: Porovnání boxů, absolutní hodnoty..... | 59 |
| Tabulka 13 Ekotoxicita a toxicita: Porovnání boxů, relativní hodnoty..... | 59 |
| Tabulka 14 Charakterizační tabulka: Porovnání boxů 2. scénář, absolutní hodnoty | 63 |
| Tabulka 15 Charakterizační tabulka: Porovnání boxů 2. scénář, relativní hodnoty | 63 |
| Tabulka 16 Inventarizační tabulka: Projekt Remobil , 1. scénář | 65 |
| Tabulka 17 Charakterizační tabulka: Projekt Remobil 1. scénář, absolutní hodnoty | 66 |
| Tabulka 18 Charakterizační tabulka: Projekt Remobil 1. scénář, relativní hodnoty..... | 67 |
| Tabulka 19 Ekotoxicita a toxicita: Projekt Remobil 1. scénář, absolutní hodnoty | 67 |
| Tabulka 20 Ekotoxicita a toxicita: Projekt Remobil 1. scénář, relativní hodnoty | 68 |
| Tabulka 21 Charakterizační tabulka: Získání primárních surovin, absolutní hodnoty | 74 |
| Tabulka 22 Charakterizační tabulka: Získání primárních surovin, relativní hodnoty..... | 75 |