

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Provozně ekonomická fakulta**

**Katedra informačních technologií**



**Česká  
zemědělská  
univerzita  
v Praze**

**Recyklace a využití počítačů**

**Bakalářská práce**

**Autor: Tymofiy Bogdan**

**Vedoucí bakalářské práce: Ing. Ivana Hellerová**

**© 2023 ČZU v Praze**

---

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Provozně ekonomická fakulta

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Tymofiy Bogdan

Ekonomika a management

Název práce

**Recyklace a využití počítačů**

Název anglicky

**Recycling and utilization of computers**

---

### Cíle práce

Hlavní cíl:

Zjistit, jak recyklovat počítač a komponenty, aby nejméně poškodily životní prostředí.

Díličí cíle:

- opětovné použití starých komponentů
- recyklace částí, které nejsou k opětovanému použití
- ekonomické zhodnocení při recyklaci starých počítačových částí

### Metodika

Teoretická část bude založena na studiu a analýze odborných a vědeckých informačních zdrojů. Praktická část se bude zabývat recyklací počítačů. Na základě syntézy teoretický poznatků a výsledků praktické části budou formulovány závěry práce formou tabulek a grafů.

**Doporučený rozsah práce**

30 – 40 stran

**Klíčová slova**

Recyklace počítačů, optimalizace, životní prostředí, ekonomické zhodnocení.

---

**Doporučené zdroje informací**

Dorion, Christiane (2007). Earth's Garbage Crisis. Milwaukee: Gareth Stevens Publishing LLLP. ISBN 9780836877533

Gerardus Blokdyk. Computer Recycling a Complete Guide – 2020 Edition. Emereo Pty Limited, 2020. ISBN 1867333309

Muammer Kaya. Electronic Waste and Printed Circuit Board Recycling Technologies. Springer Nature, 2019. ISBN 3030265935

Nguemaleu, Raoul-Abelin Choumin; Montheu, Lionel (2014-05-09). Roadmap to Greener Computing. CRC Press. ISBN 9781466506848

NIIR Board of Consultants & Engineers. The Complete Technology Book on E-Waste Recycling.: How to Start an E-Waste Recycling Business. ASIA PACIFIC BUSINESS PRESS Inc., 2015. ISBN 8178331578

---

**Předběžný termín obhajoby**

2022/23 ZS – PEF

**Vedoucí práce**

Ing. Ivana Hellerová

**Garantující pracoviště**

Katedra informačních technologií

Elektronicky schváleno dne 12. 4. 2022

**doc. Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 20. 4. 2022

**doc. Ing. Tomáš Šubrt, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 19. 06. 2022

### Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci „Recyklace a využití počítačů“ jsem vypracoval(a) samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor(ka) uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne \_\_\_\_\_



## Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucí práce Ing. Ivaně Hellerové za její ochotu a trpělivost, za připomínky při vedení této práce a za poskytnutou konzultaci.

# **Recyklace a využití počítačů**

## **Abstrakt**

Cílem této bakalářské práce je zhodnotit recyklaci vyřazených počítačových zdrojů z ekologického a ekonomického hlediska. V práci je shrnuta legislativa ČR týkající se nakládání s elektroodpadem, problematika vyřazených počítačů a metody použitelné k materiálové recyklaci počítačových zdrojů. V další části je provedeno zhodnocení dopadů recyklačních procesů na životní prostředí a člověka a dále ekonomické zhodnocení materiálové a součástkové recyklace vyřazených počítačů.

## **Klíčová slova**

Recyklace počítačů, optimalizace, životní prostředí, ekonomické zhodnocení

# **Recycling and the utilization of computers**

## **Abstract**

The aim of this bachelor thesis is to evaluate recycling of discarded computer resources from an ecological and economic point of view. The thesis summarizes the legislation of the Czech Republic concerning the management of electrical waste, the issue of discarded computers and methods applicable to material recycling of computer resources. The next part is an evaluation of the impacts of recycling processes on the environment and humans, as well as an economic evaluation of material and component recycling of discarded computers.

## **Keywords:**

Computer recycling, optimization, environment, economic recovery

## Obsah

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1 ÚVOD.....</b>  | <b>10</b> |
| <b>2 Cíl a metodika .....</b>   | <b>11</b> |
| 2.1 Hlavní cíl: .....   | 11        |
| 2.2 Metodika: .....   | 11        |
| <b>3 Teoretická východiska.....</b>   | <b>12</b> |
| 3.1 Historie vzniku počítačů .....  | 12        |
| 3.2 Recyklace.....  | 12        |
| 3.3 Elektroodpad .....  | 13        |
| 3.4 Odpadová legislativa v ČR .....   | 13        |
| 3.4.1 Zákon o odpadech.....   | 13        |
| 3.4.2 Kolektivní systémy .....  | 15        |
| 3.5 Recyklační poplatek.....  | 18        |
| 3.6 Trh s počítačovými zdroji .....   | 19        |
| 3.7 Materiálové složení osobních počítačů .....                             | 21        |
| 3.8 Metody materiálové recyklace.....                                       | 22        |
| 3.8.1 Hydrometalurgie.....  | 23        |
| 3.8.2 Elektrolýza.....  | 23        |
| 3.8.3 Pyrolýza.....   | 23        |
| 3.8.4 Recyklace nekovových frakcí zplyňováním.....                          | 24        |
| 3.8.5 Spalování .....   | 24        |
| 3.8.6 Separace vířivými proudy.....   | 25        |
| 3.8.7 Vzduchová separace .....  | 25        |
| 3.8.8 Elektrostatická separace .....  | 25        |
| 3.8.9 Magnetická separace.....  | 26        |
| 3.8.10 Bio-metalurgická metoda .....  | 26        |
| 3.9 Využití součástek .....   | 27        |
| <b>4 Praktická část práce .....</b>   | <b>28</b> |
| 4.1 Ekologické zhodnocení.....  | 28        |
| 4.1.1 Zhodnocení metodou Top Twenty .....                                   | 28        |
| 4.1.2 Zhodnocení porovnání termicko-chemické metody a mechanické recyklace  | 30        |
| 4.2 Ekonomické zhodnocení.....  | 32        |
| 4.2.1 Materiálové hledisko .....  | 32        |
| 4.2.2 Stanovení nákladů na recyklaci .....                                  | 33        |
| 4.2.3 Stanovení hodnoty materiálů obsažených v počítačových zařízeních..... | 34        |
| 4.2.4 Výtěžnost recyklace.....  | 34        |
| <b>5 Zhodnocení výsledků materiálové recyklace.....</b>                     | <b>36</b> |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>6 Závěr .....</b>                                  | <b>37</b> |
| <b>7 Seznam použitých zdrojů .....</b>                | <b>38</b> |
| <b>8 Seznam obrázků, tabulek, grafů a zkratk.....</b> | <b>40</b> |
| 8.1 Seznam obrázků .....                              | 40        |
| 8.2 Seznam tabulek .....                              | 40        |
| 8.3 Seznam grafů .....                                | 40        |
| 8.4 Seznam použitých zkratk .....                     | 40        |

# 1 ÚVOD

Bakalářská práce je zaměřena na recyklaci a využití počítačů. Všichni toužíme po moderních a dokonalých elektronických výrobcích, které nám zlepšují život, a tak si je pořizujeme. Je trendem vlastnit technicky vyspělejší zařízení pro každodenní použití, jako jsou počítače, telefony, televize a další. Trh je přesycen těmito produkty, a tak máme jako spotřebitelé obrovský výběr od různých známých i neznámých výrobců.

S rozvojem technologií však přichází i problém s ukládáním nefunkčních nebo zastaralých elektronických výrobků. Dříve se ukládaly na skládky, ale dnes jsou již specializovanými firmami recyklovány a najde se pro ně nové využití.

Elektronické zařízení na konci své životnosti přináší několik problémů, které se týkají jeho správné likvidace a možných negativních dopadů na životní prostředí. Ročně se zvyšuje množství elektroodpadu, protože díky technologickému pokroku se neustále objevují novější a lepší výrobky, které negativně ovlivňují životní prostředí. Elektronika je vyrobena z cenných zdrojů jako jsou vzácné kovy, plasty, sklo a další materiály a tyto materiály jsou získávány s vysokou energetickou náročností. Většina elektronických součástí může být recyklována a znovu použita, ale když jsou tyto součástky zahozeny, jsou ztraceny cenné zdroje a vytváří se další znečištění. Některé součástky obsahují nebezpečné a toxické látky, jako jsou olovo, rtuť, kadmium, chrom a nehořlavé materiály, což z elektroniky dělá největší zdroj těžkých kovů v odpadu. Pokud nejsou tyto složky správně zpracovány, mohou představovat vážné riziko pro životní prostředí.

Elektroodpad je složitý odpad, obsahující mnoho různých materiálů, a vyžaduje speciální recyklaci. Nesprávné nakládání s elektroodpadem může mít negativní dopad na životní prostředí, a proto je důležité organizovaně sbírat a recyklovat tento odpad. Hlavním problémem v této oblasti je nízká míra sběru vysloužilých elektrozařízení pro recyklaci, často končící v běžném komunálním odpadu. V této práci se autor zaměřuje na problematiku počítačů a hledá možnosti materiálového zpracování vysloužilých počítačů. Hlavním cílem práce je posoudit ekologickou a ekonomickou efektivnost recyklace vysloužilých počítačů.

## **2 Cíl a metodika**

### **2.1 Hlavní cíl**

Hlavním cílem je zjistit, jak recyklovat počítač a komponenty, aby nejméně poškodily životní prostředí.

Dílčím cílem je opětovné použití starých komponentů, recyklace částí, které nejsou k opětovnému použití, ekonomické zhodnocení při recyklaci starých počítačových částí.

### **2.2 Metodika**

Teoretická část práce je založena na studiu a analýze odborných a vědeckých informačních zdrojů. V teoretické části práce jsou shrnuty aspekty nakládání s elektroodpadem. Je nastíněna problematika recyklace počítačových zdrojů a metod, jakými je možné počítače zpracovávat a recyklovat.

V praktické části práce je provedeno zhodnocení recyklace z ekologického hlediska a z hlediska ekonomického, porovnáním nákladů a výnosů procesů recyklace. Na základě syntézy teoretických poznatků a výsledků praktické části jsou formulovány závěry práce formou tabulek a grafů.

## 3 Teoretická východiska

### 3.1 Historie vzniku počítačů

První počítače byly objemné konstrukce, které zabíraly celé místnosti. Pracovaly výhradně na drahých elektronkách. Odtud jejich název – elektronkové počítače. Používaly se především pro vojenské účely. A po skončení války – ve státních institucích. V té době k nim mělo přístup jen několik velkých firem. K výraznému zmenšení rozměrů pomohl vynález tranzistorů v roce 1948. V roce 1965 vyšel první model jednoho z nejběžnějších počítačů té doby, PDP-8. Těšil se poměrně velké komerční oblibě. Byl velký asi jako lednička. V roce 1971 byl uveden na trh první čtyřbitový mikroprocesor Intel-4004. Tento procesor je považován za první jednočipový mikroprocesor dostupný v historii. V roce 1973 se zrodil první osmibitový mikroprocesor Intel-8008. Byl architektonicky podobný Intel-4004. V roce 1975 vytvořil Henry Edward Roberts první mikropočítač Altair založený na procesoru Intel-8008. V roce 1981 vytvořila společnost IBM první osobní počítač, který se stal praotcem všech moderních počítačů. Byl to model IBM PC 5150. Společnost IBM byla založena v roce 1911 a její počítače jsou stále velmi žádané a patří k nejspolehlivějším na světě. (Hennessy, et al., 1998)

### 3.2 Recyklace

Recyklace je tok, který uzavírá kruh a který dělá z převážně jednosměrných pochodů po linii těžba materiálů-výroba-využití-likvidace určitý cyklus. Tento pojem se vztahuje na různé výstupy. Recyklace materiálů může být otázkou opětovného využití celého produktu nebo jeho části, obnovení původních složek jejich vzájemným oddělením nebo drcením či tavením vyhozených předmětů nebo spálením vyhozeného materiálu, čímž se získává teplo či elektrina. Materiály se opětovně používají buď jako celistvý odpad (cihly jsou nejspíš nejběžnějším příkladem této praxe) či s minimálními úpravami (masivní dřevo získané ze starých budov se často seřeže jiným způsobem). Většina recyklací se dělá s cílem obnovit původní prvky, které může využít sám recyklující nebo je může prodat jinému odvětví jako suroviny. Kovy je možné recyklovat s minimálním odpadem a získat materiál, který je kvalitativně téměř nerozlišitelný nebo velmi blízký originálnímu (primárnímu) vstupu, ovšem u většiny materiálů se při recyklaci jedná o zhoršení kvality: z vysoce kvalitního papíru se dělá balicí papír nebo lepenka, drahé plasty se mění na levné předměty. (Smil, 2017)



### **3.3 Elektroodpad**

Odpad, který vznikl z elektrických a elektronických zařízení (ledničky, pračky, mobilní telefony, osobní počítače, tiskárny, hračky, televize a další produkty) a s ukončenou dobou životnosti, považujeme za elektroodpad. Podstatnou část elektroodpadu tvoří nejen kovy (olovo, měď, hliník, stříbro, paladium a další kovy), ale také různé druhy plastů, keramika, sklo, dřevo a papír. Jeho součástí jsou ovšem i toxické látky, které představují nebezpečí pro životní prostředí.

Recyklovatelné materiály (kovy, sklo a plasty) se z elektroodpadu, jako zdroje druhotných surovin, separují. Nebezpečné látky se musí odstranit. Užitečné suroviny se z elektroodpadu mohou získat technologickými procesy, například tepelným zpracováním, biologickým loužením nebo hydrometalurgickými pochody. Využití druhotných surovin je výhodnější z hlediska úspory energie a jejich zpracováním se surovinová potřeba pro nové výrobky snižuje. (Smil, 2017)

### **3.4 Odpadová legislativa v ČR**

#### **3.4.1 Zákon o odpadech**

První zákon o odpadech (č. 238/1991 Sb.) vznikl v roce 1991. Do té doby nebylo nakládání s odpady legislativně nijak kontrolováno a s výjimkou druhotných surovin nepodléhalo žádným předpisům.

Prvním zákonem o odpadech v souladu s předpisy Evropské Unie je zákon č. 185/2001 Sb. (ČESKO, 2001), který v novelizované podobě platí dodnes, od 1. ledna 2015 ve znění 229/2014 Sb. Mezi nejpodstatnější změny provedené touto novelou patří stanovení zákazu „od roku 2024 ukládat na skládky veškerý směsný komunální odpad a recyklovatelné a využitelné odpady stanovené prováděcím právním předpisem“. (ČESKO, 2014)

Zákonem je odpad definován jako „každá movitá věc, které se osoba zbavuje nebo má úmysl nebo povinnost se jí zbavit.“ Elektroodpadem je potom „každé elektrozařízení, které se stalo odpadem, včetně komponentů, konstrukčních dílů a spotřebních dílů, které v tom okamžiku jsou součástí zařízení.“

„Elektrickým nebo elektronickým zařízením (dále jen „elektrozařízení“) se rozumí 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.“ (ČESKO, 2001)

Historické elektrozařízení je definováno vyhláškou MŽP (Ministerstvo životního prostředí) jako „elektrozařízení pocházející z domácností, uvedené na trh do dne 13. srpna 2005, které je určeno ke zpětnému odběru“. (ČESKO, 2005)

### 3.4.2 Kolektivní systémy

Kolektivní systémy pro zpětný odběr elektrozařízení byly založeny za účelem provozování a řízení systémů zajišťujících výrobcům společného plnění povinností pro oddělený sběr, zpětný odběr, zpracování, využití a odstranění elektrozařízení a elektroodpadu podle § 37g písm. e) zákona č. 185/2001 Sb. (ČESKO, 2001), o odpadech v platném znění (dále jen zákona o odpadech). Jsou založeny na principu rovného přístupu ke všem účastníkům systému. Za výsledky zpětného odběru a dosažení míry využití se kolektivní systémy zodpovídají jak účastníkům systému, tak Ministerstvu životního prostředí ČR, kterému o své činnosti předkládají každoročně roční zprávy. Především ale zodpovídají za naplnění všech povinností stanovených výrobcům, se kterými uzavřely smlouvu a za které tyto povinnosti plní. (ČESKO, 2005)

Kolektivní systémy pro zpětný odběr elektrozařízení jsou vedeny Ministerstvem životního prostředí ČR v Seznamu výrobců pro jednotlivé skupiny elektrozařízení 1 – 6 dle přílohy č. 7 zákona o odpadech. Na základě rozhodnutí Ministerstva životního prostředí ČR jsou oprávněny zajišťovat především:

- financování historických elektrozařízení (uvedených na trh do 13.8.2005)
- financování nových elektrozařízení (uvedených na trh po 13.8.2005)
- financování elektroodpadů
- zpětného odběru elektrozařízení, odděleného sběru elektroodpadů, zpracování, využití a odstranění elektroodpadů. (Ministerstvo životního prostředí )

Mezi povinnosti kolektivních systémů patří i poskytování informací o místech zpětného odběru spotřebitelům a dále informací o materiálovém složení spotřebičů zpracovatelům, které za výrobce přebírají.

Zpětný odběr elektrozařízení kolektivními systémy může být zajišťován prostřednictvím:

- smlouvy uzavřené s městy a obcemi o zapojení kolektivního systému do systému sběru a třídění komunálních odpadů, zajištěním zpětného odběru ve sběrném dvoře
- posledních prodejců a servisních sítí, a to převážně zajištěním odvozu elektrozařízení přímo z provozovny prodejce či servisu
- měst a obcí, které nemají sběrný dvůr, a to formou registrace svozové společnosti, která provádí v obci mobilní svoz. (Ministerstvo životního prostředí )

*Tabulka 1 Provozovatelé kolektivních systémů se souhlasem pro zajištění financování nakládání s elektroodpady a s historickými elektrozařízeními*

| Kolektivní systém         | Skupiny elektrozařízení, pro které byl kolektivnímu systému vydán souhlas k nakládání a financování |                       |                       |
|---------------------------|---|-----------------------|-----------------------|
|                           | B2B   | B2C                   | B2C-H                 |
| ASEKOL a.s.               | 1, 2, 3, 4a,5, 6  | 1, 2, 3, 4a,5, 6      | 1, 2, 3, 4a,5, 6      |
| ASEKOL Solar s.r.o        | 4a, 4b  | 4a, 4b                |                       |
| Bren, s.r.o               | 2, 6  | 2, 6                  |                       |
| ČEZ Recyklace, s.r.o.     | 4b  | 4b                    |                       |
| ECOPARTNER s.r.o.         | 4b  | 4b                    |                       |
| EKOLAMP s.r.o.            | 5   | 5                     | 5                     |
| ELEKTROWIN a.s.           | 1, 2, 3, 4a, 4b, 5, 6   | 1, 2, 3, 4a, 4b, 5, 6 | 1, 2, 3, 4a, 4b, 5, 6 |
| FitCraft Recyklace s.r.o  | 4b  | 4b                    |                       |
| MINTES Solutions s.r.o.   | 4b  | 4b                    |                       |
| OFO - recycling s.r.o.    | 1, 2, 3, 4a, 4b, 5, 6   | 1, 2, 3, 4a, 4b, 5, 6 |                       |
| PV Recovery, s.r.o        | 4b  | 4b                    |                       |
| Recycling Systems, s.r.o. | 4b  | 4b                    |                       |
| REMA PV Systém, a.s.      | 4a, 4b  | 4a, 4b                |                       |
| REMA Systém, a.s          | 1, 2, 3, 4a, 5, 6   | 1, 2, 3, 4a, 5, 6     | 1, 2, 3, 4a, 5, 6     |
| REsolar s.r.o.            | 4b  | 4b                    |                       |
| RETELA, s.r.o.            | 1, 2, 3, 4a, 4b, 5, 6   | 1, 2, 3, 4a, 4b, 5, 6 | 1, 2, 3, 4a, 4b, 5, 6 |

*Zdroj: (CeHO, 2009)*

### Vysvětlivky:

B2B – financování nakládání s elektrozařizeními, která nejsou určena pro domácnost

B2C – financování nakládání s elektrozařizeními určenými pro domácnosti bez oprávnění zajišťovat financování nakládání s historickými elektrozařizeními

B2C-H – financování nakládání s historickými elektrozařizeními pocházejícími z domácností

### Skupiny elektrozařizení:

1. Zařízení pro tepelnou výměnu
2. Obrazovky, monitory a zařízení obsahující obrazovky o ploše větší než 100 cm<sup>2</sup>
3. Světelné zdroje
4. A) Velká zařízení, jejichž kterýkoli vnější rozměr přesahuje 50 cm  
B) Solární panely
5. Malá zařízení, jejichž žádný vnější rozměr nepřesahuje 50 cm
6. Malá zařízení IT technologií a telekomunikační zařízení, jejichž žádný vnější rozměr nepřesahuje 50 cm

Zvýrazněna je skupina 6. Malá zařízení informačních technologií a telekomunikační zařízení, do které spadají osobní počítače. Tyto tedy v České republice zpracovává celkem 6 společností. Největší část této skupiny elektroodpadu zpracovávají společnosti ASEKOL a.s., REMA Systém, a.s. a RETELA, s.r.o.

### 3.5 Recyklační poplatek

Recyklační poplatek byl v ČR zaveden v roce 2005 společně s povinností recyklovat elektroodpad. Placená částka se skládala ze dvou složek, tzv. PHE a PNE. Zaprvé výrobce kolektivnímu systému platil za budoucí recyklaci vlastního „nového“ výrobku (PNE) a zadruhé tzv. poplatkem za historický elektroodpad (PHE) přispíval na recyklaci historických zařízení, tedy zařízení vyrobených před 13. srpnem 2005. Nakládání s nimi měli výrobci zajistit kolektivně, ať už proto, že není jasné, kdo zařízení vyrobil, nebo že už původní výrobce neexistuje. Poplatek PHE musel být zahrnut v konečné ceně výrobku a viditelně uveden na vydaném dokladu, v případě PNE tato povinnost není a ten již je proto nejčastěji zahrnut v ceně. Výši recyklačního poplatku stanovuje kolektivní systém a poplatek poté představuje, spolu s případnými zisky z prodeje získaných materiálů, zdroj jeho příjmů, z něj jsou financovány sběr, přeprava a zpracování elektroodpadu. V současnosti již výrobci na recyklaci většiny historických zařízení přispívat nemusejí. PHE pro malé a střední spotřebiče byl zrušen 13. srpna 2013, u velkých spotřebičů (pračky, myčky, ...) byl tento termín prodloužen o dva roky. Zrušení vychází z předpokladu, že většina historických zařízení už byla do této chvíle zrecyklována nebo jinak vyřazena z užívání. (Hobrland, 2021)

*Tabulka 2 Aktuální výše recyklačního poplatku za PC u některých zpracovatelů*

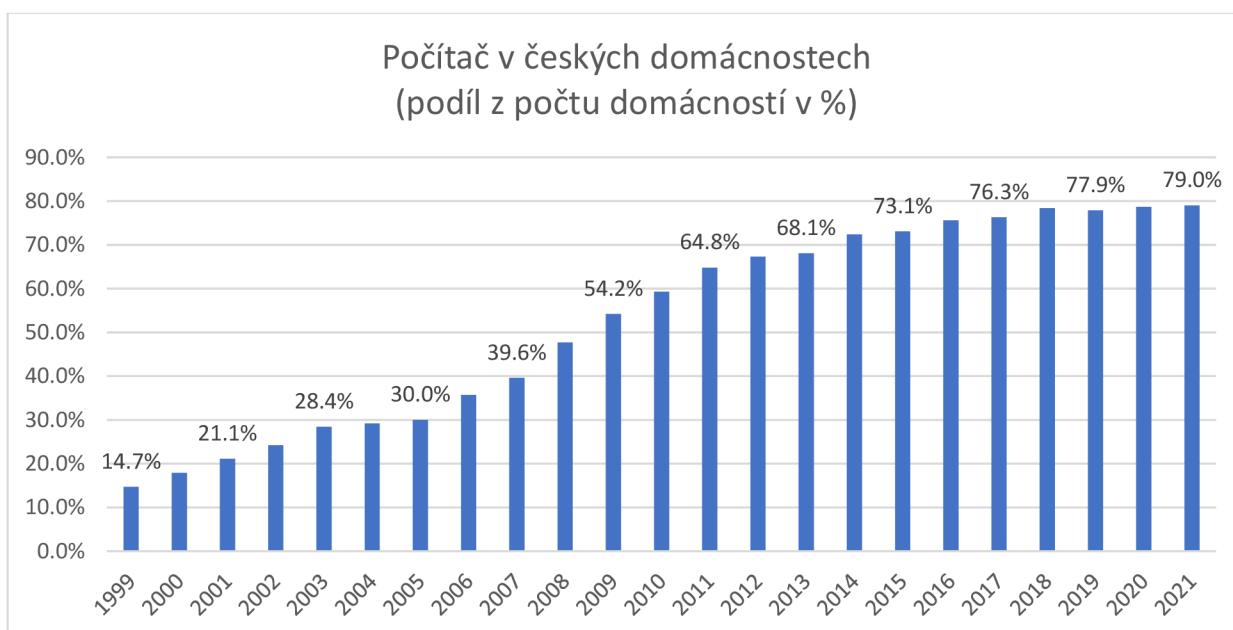
|                   |              |
|-------------------|--------------|
| REMA Systém, a.s. | 12 Kč/ks     |
| ASEKOL a.s.       | 2,50 Kč/1 kg |
| RETELA, s.r.o.    | 2,30 Kč/1 kg |

*Zdroj: (CeHO, 2009)*

### 3.6 Trh s počítačovými zdroji

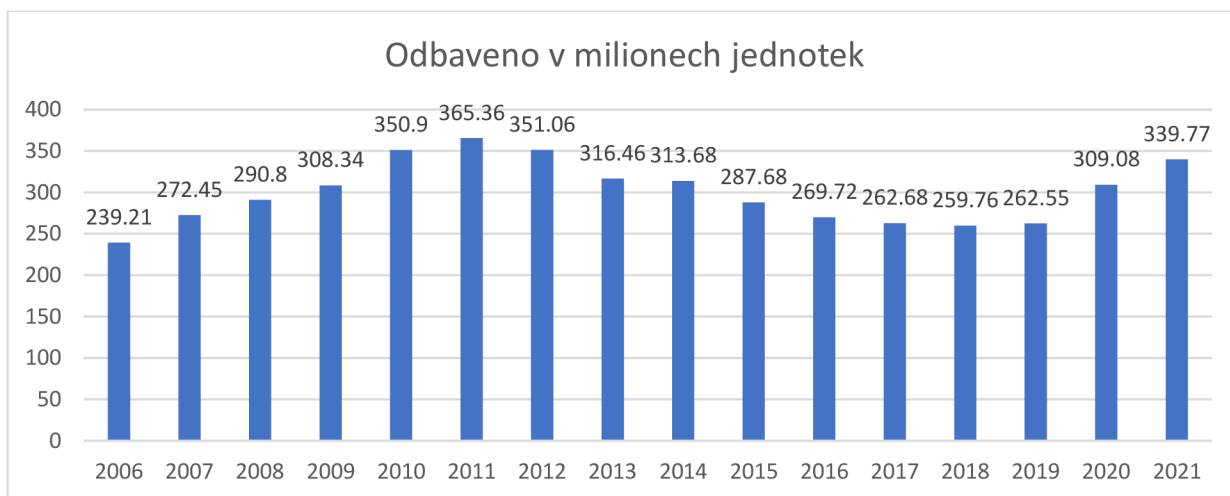
Téměř každá rodina má dnes domácí počítač, může to být stolní počítač, notebook nebo tablet. Zařízení se stalo tak populární, protože ho lze použít pro práci, studium i pro odpočinek ve volném čase. Počítač se stal velmi multitaskingovým zařízením, které lidem usnadňuje život. Od roku 1999 poptávka po tomto zařízení neustále roste. V roce 2021 (*Graf 1*) 79 % domácností v ČR vlastní osobní počítač.

*Graf 1 Vývoj počtu českých domácností vybavených osobním počítačem*



*Zdroj: (ČSÚ, 2021)*

Graf 2 Celkové jednotkové dodávky osobních počítačů (PC) po celém světě od roku 2006 do roku 2021 (v milionech jednotek)



Zdroj: (Alsop, 2021)

Pokrok se nezastavuje a počítače stále získávají na popularitě. Počítačové zařízení je složité a zastarává mnohem pomaleji než mobilní telefon, protože výkonová rezerva v moderních počítačích stačí na mnoho let dopředu. Na základě grafu 2 je vidět, že díky nedávným událostem, jako je pandemie, poptávka po počítačích opět vzrostla. Je to dáno přechodem mnoha firem na práci na dálku. Pro tyto účely je počítač ideálním řešením. (ČSÚ, 2021)



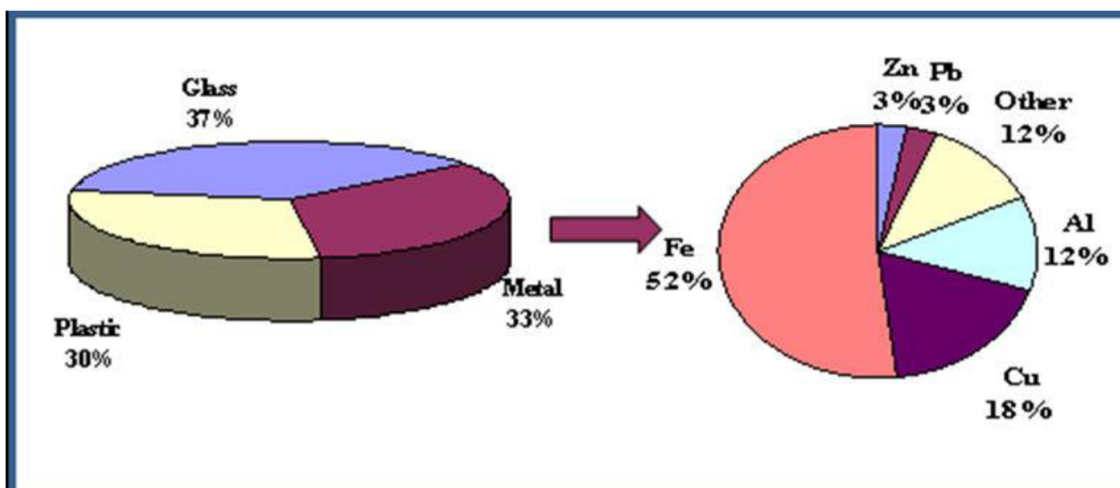
### 3.7 Materiálové složení osobních počítačů

V periodické tabulce existuje více než 100 chemických prvků, z nichž mnoho se používá v moderních elektronických zařízeních, jako jsou osobní počítače. I když jen několik prvků tvoří většinu hmotnosti těchto zařízení, mnoho dalších prvků se používá v malých množstvích pro jejich specializované vlastnosti. Recyklace elektronického odpadu je zvláště obtížná, protože tyto zařízení obsahují různé sloučeniny a prvky, které je třeba oddělit pomocí mechanických a chemických procesů. Křemík je jádrem moderních počítačů, ale tranzistory a mikročipy vyžadují mnoho dalších materiálů, včetně těžkých kovů. Mezi prvky používanými jako dopanty křemíku patří arsen, fosfor, bor a galium. Desky tištěných spojů, diskové mechaniky, expanzní karty, elektrická příslušenství a spojovací materiály také tvoří velkou část elektronického odpadu. Materiály používané v elektronice jsou velmi rozmanité, ačkoli ocel, sklo, plasty, měď a hliník tvoří většinu objemu (*Obr. 1*). Nicméně existuje mnoho dalších kovů, které se používají v malých množstvích, z nichž některé jsou klasifikovány jako nebezpečné, jako například arsen, kadmium, chrom, kobalt, rtuť, olovo, antimon a selen. Tato omezená zásoba vzácných kovů a jiných prvků zdůrazňuje důležitost recyklace elektronického odpadu. (USGS, 2001; Williams, 2011).

Byla provedena analýza (*Obr. 2*) toku materiálů (MFA) na úrovni konkrétních materiálů Van Eygenem a spol. (2016), kteří poskytli průměrné složení materiálů stolních počítačů: železné kovy (37 %), hliník (5 %), měď (4 %), vzácné kovy (0,01 %), ostatní neželezné kovy (1 %), plasty (19 %), minerály a další (34 %). Další studie poskytly specifitější seznam materiálů (BoM). Mezi nejnovějšími studiemi lze uvést studie provedené Songem a spol. a Teehanem a Kandlikarem (2013). Song a spol. (2013) analyzovali jednotku stolního počítače Dell, ale nezveřejnili, o jaký model se jedná. Podle Dodda a spol. lze v rámci výrobní fáze stolních počítačů identifikovat určité komponenty jako environmentální „horké skvrny“, jako je matiční deska (často nazývaná také jako „hlavní deska“) a další tištěné obvody (PCB), CD-ROM, HDD a napájecí zdroj. CRM a vzácné kovy, jako je stříbro, zlato a palladium obsažené v matiční desce a dalších PCB, mohou být relevantní pro různé kategorie environmentálního dopadu. (Mathieux, 2018)

Podle zprávy International Business Machines Corporation (IBM) se průměrná hmotnost osobního počítače pohybuje kolem 15-17 liber (5,7-6,5 kilogramů). Hmotnost se však může lišit v závislosti na velikosti a modelu počítače. (IBM, 2021)

Obrázek 1 Material composition of a typical computer



Zdroj: (Mihai, 2016)

Tabulka 3 Desktop-computer bill of materials (BoM) according to Song et al. (2013)

| materials                                | contains (kg) in 1 tone of typical computer |
|--|---|
| Gold (Au)                                | 0,05  |
| Copper (Cu)                              | 40  |
| Aluminium (Al)                           | 50  |
| Silver (Ag)                              | 0,09  |
| Palladium (Pd)                           | 0,01  |
| Iron (Fe)                                | 300   |
| Acrylonitrile butadiene styrene (ABS/PC) | 170   |

Zdroj: (Mathieux, 2018)

### 3.8 Metody materiálové recyklace

Níže jsou uvedeny konkrétní metody použitelné při recyklaci počítačů, resp. elektroodpadu obecně. Jedná se o postupy využívané většinou ke zpracování konkrétního materiálu. Recyklační procesy zahrnují vždy kombinaci několika metod, přičemž podle podstaty užívaných metod je možné je rozdělit na dvě základní cesty recyklace: termicko-chemické a mechanické. Reálný recyklační proces však může zahrnovat postupy z obou skupin a mít podobu např. mechanicko-chemickou.

Termicko-chemické metody:

### 3.8.1 Hydrometalurgie

Metody využívající kyselé nebo alkalické loužení rozdrčeného nebo namletého materiálu představují základ pro získání kovů. K tomu se používají různá činidla, jako například  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , lučavka královská, roztoky  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $\text{NH}_4\text{F}$ ,  $\text{CuCl}_2$  a další, často s příměsí  $\text{H}_2\text{O}_2$  a podobných látek. Výluhy z této fáze se dále zpracovávají pomocí různých technik, jako jsou srážecí reakce, cementace, filtrace, destilace, kapalinová extrakce, ionexy nebo membránové procesy. Výsledný koncentrát se následně podrobí elektrolýze, která umožní získání čistého kovu. Nicméně, mezi nedostatky tohoto procesu patří nutnost separace odpadních látek, složitost a nižší životnost zařízení a problémy s odpadními vodami. (Trebichavský, 1997) Výhodou metody je energetická nenáročnost a rentabilita. Získaný kov je možné bez dalších úprav prodat. Nekovové materiály však je třeba dále ošetřit, než je možné s nimi dále nakládat.

### 3.8.2 Elektrolýza

Elektrolýza je tradiční způsob, jak recyklovat měď. Tento proces začíná tím, že se použije slitina kovů, která vzniká roztavením kovů z elektroodpadu. Poté se použije elektrolýza s vhodným elektrolytem, kdy se jedna elektroda tvoří ze slitiny kovů a druhá z čistého kovu. Nejčastěji se používá k výrobě čisté mědi, a další procesy jako například hydrometalurgie se používají k zpracování zbytkového materiálu. Pokud se jako vstupní surovina použije neseparovaná směs kovů s organickými materiály, dojde k hoření těchto složek během tavení. Tento proces může být výhodný z ekonomického hlediska, protože není nutné složitě separovat materiály a spálením se ušetří energie potřebná k tavení, jelikož chemická energie obsažená v organických složkách počítačů je dostatečná k pokrytí spotřeby procesu získávání kovů. (Szałatkiewicz, 2014) V takovémto procesu je ale nutné počítat s negativními dopady spalování.

### 3.8.3 Pyrolýza

Slovo „pyrolýza“ původně znamená uvolnění nebo změnu teplem nebo ohněm, ale běžně se používá pro proces zahřívání bez přístupu kyslíku v reaktorech, který spotřebovává energii a vytváří plyny bohaté na složitou směs uhlovodíků a kapalinu složenou z látek s vyšší molekulovou hmotností. Tento endotermní proces může být využit jako palivo, a potřebné teplo se může dodávat spalováním produktů. Odpadní teplo lze dále využít k výrobě páry nebo teplé užitkové vody. Tuto technologii lze použít k recyklaci syntetických polymerů, včetně polymerů

v kombinaci se skelnými vlákny, jako jsou desky plošných spojů. Pyrolýzou se rozloží pryskyřice a pájka poutající elektronické součástky k desce se roztaví. Výsledkem jsou plyny, oleje a popel, které mohou být dále využity jako chemické suroviny nebo paliva. Zbývající materiál je začernalý a může být separován jinými metodami na čisté kovy. (Rollinson, 2019)

#### **3.8.4 Recyklace nekovových frakcí zplyňováním**

Hlavním využitím procesu zplyňování je výroba syntézního plynu, který se skládá z oxidu uhelnatého a vodíku, a je často označován jako Syngas. Tato technologie je používána již dlouhou dobu k výrobě plynů z fosilních paliv, jako je uhlí a ropa. Proces tepelného rozkladu materiálu se provádí za vyšších teplot než u pyrolýzy, konkrétně v rozmezí 480 až 1650 stupňů Celsia a bez přístupu vzduchu. Tento proces nejenže rozkládá těkavé složky, ale také umožňuje přeměnu uhlíku z popela na další syntézní plyn, což by se při pyrolýze nestalo. Vodní pára může být také přidána do směsi, aby se tato přeměna urychlila. (Kudláček, 2021)

Hlavní výhodou použití zplyňování je nízká úroveň rozkladu obsažených bromovaných retardantů hoření. Tyto jsou naopak při spalování zdrojem toxických plynů a způsobují vyšší škodlivost takového nakládání s nekovovou frakcí elektroodpadu.

#### **3.8.5 Spalování**

Plasty mohou být depolymerovány nejjednodušším způsobem, kterým je spalování. Pro nekovové frakce elektroodpadu je spalování nejjednodušším způsobem energetického využití. Tento postup pomáhá redukovat objem elektroodpadu a odstranit složky s nízkou a potenciálně zápornou hodnotou, které musí být dále likvidovány. Na rozdíl od pyrolýzy, která omezuje množství kyslíku pro získání hořlavého plynu, spalování si klade za cíl úplné shoření suroviny. Výsledkem spalování jsou popel, oxid uhličitý a vodní pára. Při spalování směsného odpadu může být popel toxický a i přes více než stoletý vývoj má tento postup stále nevyřešené problémy, jako je například koroze způsobená kyselými plyny. (Thomé-Kozmiensky, et al., 2019) Nehledě na tyto problémy je spalování destruktivní postup a výsledné molekuly nelze z energetického hlediska využít ani jako palivo ani jako stavební prvky pro výrobu polymerů.

Mechanické metody:

### **3.8.6 Separace vířivými proudy**

Tento postup se týká oddělení materiálů fyzickou separací z jejich směsi. Zařízení, která budou separována, jsou nejprve rozdrčena na velikost, která odpovídá požadavkům pro následující mlecí proces. Poté se směs rozmělní na jemný prášek, který se poté oddělí od sebe pomocí vířivých proudů v separátoru. Separátor dokáže kovy rozdělit podle jejich specifických vlastností a poté se tyto kovy mohou dále třídit podle hustoty pro získání čistých vzorků.

Příkladem použití této technologie je tzv. HF ECS (High-force eddycurrent separator) sloužící k získávání hliníku. (Klaus Hieronymi, 2012)

### **3.8.7 Vzduchová separace**

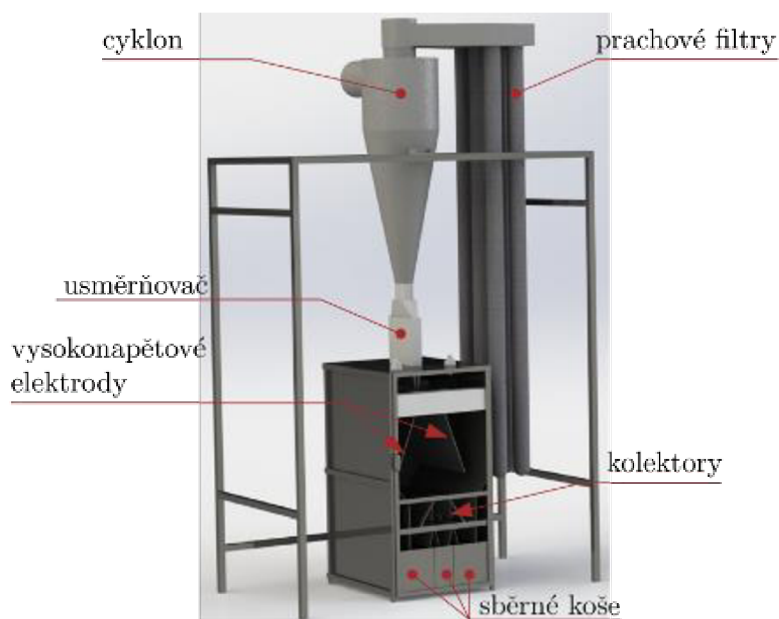
Tato technika odděluje tuhé částice na základě jejich velikosti a hustoty. Proces funguje tak, že částice, které jsou smíšené s větrem, se pohybují od sebe v různých směrech díky působení pohybu plynu a gravitace. To vede k separaci částic, protože lehké částice jsou unášeny plynným proudem nahoru, zatímco těžší částice klesají dolů pod vlivem silnější gravitační síly. (Klaus Hieronymi, 2012)

### **3.8.8 Elektrostatická separace**

Aby se odpad v podobě drti dostal do vzduchového dopravníku a následně cyklonového separátoru, používá se šnekového podavače. Během transportu drti dochází k nabíjení částic triboelektrickým jevem, který se vyskytuje při tření částic mezi sebou a se stěnami dopravníku. Aby bylo možné úspěšně separovat plastovou drť, je důležité volit vhodné materiály a zajistit elektrické odizolování celého systému dopravníku. Po procházení cyklonovým separátorem se drť dostane do vysokonapěťové komory, kde probíhá elektrostatická separace mezi elektrodami a kolektory. Aby bylo dosaženo účinné separace, je nutné správně nastavit elektrody a kolektory. Separovaná drť se následně shromažďuje ve sběrných koších a může být dále zpracována pomocí šnekových dopravníků, aby byly odděleny jednotlivé složky odpadu. (Kuthan, 2021)

Elektrostatická technologie může být použita k recyklaci Cu, Al, Pb, Sn, Fe, některých ušlechtilých kovů a plastů.

Obrázek 2 Elektrostatický separátor



Zdroj: (Kuthan, 2021)

### 3.8.9 Magnetická separace

Magnetická separace se používá ke třídění feromagnetických částic (Fe) od neželezných kovů a jiného nemagnetického odpadu. Nejdříve je třeba rozemlet materiál na co nejmenší kousky, aby se zvýšila účinnost separace. Nevýhodou této metody je, že nemagnetické částice se mohou slepit s feromagnetickými a snížit tak celkovou účinnost procesu. (System, 2018)

### 3.8.10 Bio-metalurgická metoda

Tato technika se využívá pro extrakci cenných kovů a mědi z rudy již po mnoho let, nicméně proces stále není dostatečně rozvinutý. Biologické mikroorganismy transportují ionty kovů do svých buněk pro své vnitrobuněčné funkce, přičemž vážou kovové ionty, které se vyskytují v okolním prostředí, na povrch svých buněk. Každý druh mikroorganismu má tendenci vázat se na určitý kov v konkrétním prostředí, což může podporovat selektivní nebo neselektivní získávání kovů. Biolouhování a biosorpce jsou dvě hlavní oblasti biometalurgie pro extrakci kovů, přičemž biolouhování se úspěšně používá pro získávání drahých kovů a mědi z rud po mnoho let. Tento postup lze také aplikovat na získávání mědi a dalších cenných kovů z odpadních desek plošných spojů. (Shubham Gupta, 2014)

### 3.9 Využití součástek

Při návrhu a výrobě systémové jednotky počítače je důležité zvážit možnosti opětovného použití jednotlivých částí. Pokud je jednotka v budoucnu vyřazena, mohou být funkční a nepoškozené součásti použity opětovně, místo aby skončily jako elektroodpad.

Demontáž a testování funkčnosti součástek jsou klíčové procesy v opětovném použití. Výrobní postup by měl zahrnovat zjednodušení demontáže a použití lehce rozebíratelných spojů, aby se snížila nutnost manuální práce a celková doba rozebírání zařízení.

Opětovné použití součástek může být pro výrobce výhodné, protože snižuje náklady na výrobu nových součástek a zvyšuje ziskovost celého procesu. Součásti mohou být použity jako náhradní díly pro stejný typ počítačové jednotky nebo jako díly pro výrobu jiných zařízení. Při nakládání s vyřazenými počítačovými jednotkami je důležité zajistit dostatečnou poptávku po opětovně použitelných součástkách. Výroba zařízení z recyklovaných součástek vyžaduje stálý přísun těchto součástek od zpracovatelských firem a určitou technologickou kompatibilitu s moderními zařízeními. (Sobh, 2010)

Opětovné použití součástek z počítačových jednotek přispívá k ochraně životního prostředí a snižuje množství elektroodpadu. Je to udržitelný způsob nakládání s vyřazenými počítačovými jednotkami, který přináší ekonomické výhody výrobcům a zákazníkům.

## 4 Praktická část práce

### 4.1 Ekologické zhodnocení

#### 4.1.1 Zhodnocení metodou Top Twenty

Pro posouzení dopadů recyklace na životní prostředí a člověka byla použita metodika Top Twenty (TT). Tento postup se používá k vyhodnocení procesů a spočívá v hodnocení (dvaceti) nejdůležitějších vstupů a výstupů procesu. Metoda TT používá tabulky s bodovým systémem, kde jsou zvolena nejvýznamnější kritéria (dopady) a přidělena priorita (1-5). Každému kritériu se přiřadí hodnocení (váha 1-10), které vyjadřuje skutečný stav v daném procesu. Výsledný počet bodů pro daný faktor hodnoceného procesu se získá vynásobením priority a váhy. Metoda TT byla použita k porovnání dvou základních způsobů recyklace, termicko-chemické a mechanické, a k hodnocení procesu demontáže součástek z počítače. (Tesárek, 2015)

Tabulka 4 Definice vstupů a výstupů procesů

|                                 | <b>Vstupy</b>             | <b>Výstupy</b>                |
|---------------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| <b>Termicko-chemická metoda</b> | počítače                  | teplo                         |
|                                 | energie                   | nerecyklovatelný odpad        |
|                                 | chemické látky            | suroviny                      |
|                                 | obsluha (lidská práce)    | chemické látky                |
|                                 |                           | emise                         |
| <b>Mechanická recyklace</b>     | počítače                  | suroviny                      |
|                                 | energie                   | nerecyklovatelný odpad        |
|                                 | vybavení recyklační linky |                               |
|                                 | obsluha (lidská práce)    |                               |
| <b>Demontáž</b>                 | počítače                  | součástky                     |
|                                 | lidská práce              | části k materiálové recyklaci |
|                                 |                           | nerecyklovatelný odpad        |

Zdroj: (Vlastní zpracování)

Jako hlavní negativní důsledky bylo vybráno snížení množství surovin, nárůst spotřeby energie, emise produkované procesem, příspěvek ke globálnímu oteplování, toxicity procesu, zakyselení půdy a znečištění podzemních a užitkových vod.



Tabulka 5 Zhodnocení negativních dopadů

|                     |          | Termicko-chemická metoda |      | Mechanická recyklace |      | Demontáž |      |
|---------------------|----------|--------------------------|------|----------------------|------|----------|------|
| Negativní vliv      | Priorita | Váha                     | Body | Váha                 | Body | Váha     | Body |
| Znečištění vod      | 4,5      | 7                        | 31,5 | 4                    | 18   | 0        | 0    |
| Emise               | 4        | 10                       | 40   | 5                    | 20   | 5        | 20   |
| Spotřeba energie    | 5        | 9                        | 45   | 10                   | 50   | 3        | 15   |
| Úbytek surovin      | 5        | 8                        | 40   | 9                    | 45   | 3        | 15   |
| Globální oteplování | 4,5      | 9                        | 40,5 | 6                    | 27   | 5        | 22,5 |
| Toxicita            | 4,5      | 10                       | 45   | 2                    | 9    | 0        | 0    |
| Acidifikace         | 4        | 9                        | 36   | 2                    | 8    | 0        | 0    |
|                     | celkově  |                          | 278  |                      | 177  |          | 72,5 |

Zdroj: (Vlastní zpracování)

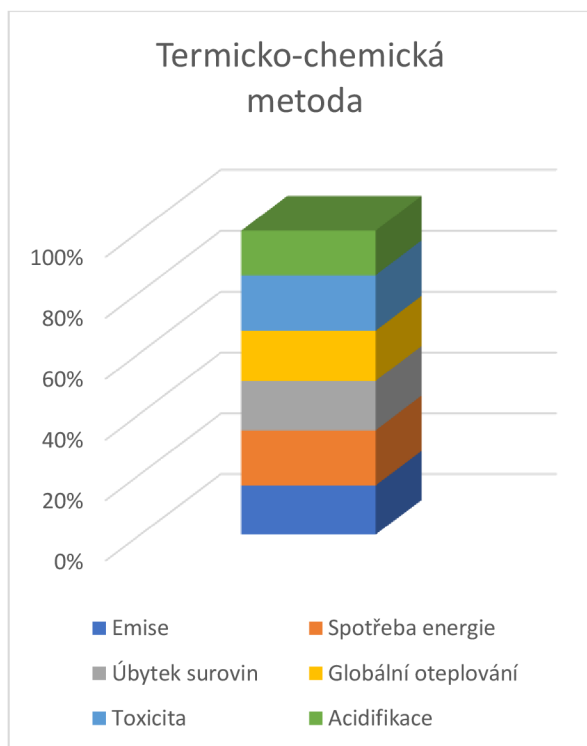
Snížení množství surovin je způsobeno nejen surovinami, které nebyly úspěšně odděleny z odpadu pro další využití, ale také surovinami spotřebovanými během procesu recyklace. Tyto ztráty jsou způsobeny různými faktory, jako je například spalování plastů při termických metodách nebo nedokonalá separace materiálů při mechanických metodách. Kromě toho se také zahrnují suroviny spotřebované během procesů jako je získávání cenných kovů chemickými metodami nebo spalování zemního plynu v tavicí peci.

#### 4.1.2 Zhodnocení porovnání termicko-chemické metody a mechanické recyklace

Rozdíly mezi oběma způsoby recyklace jsou zřejmé z porovnání grafů 3 a 4. Mechanické postupy recyklace jsou ovlivněny hlukem a vibracemi, které jsou produkované recyklační linkou. Hlavními činnostmi jsou drcení v „šředrech“, přesun po dopravnících a třídění v separátorech. Tyto procesy jsou energeticky náročné a vedou ke ztrátě surovin kvůli nedokonalé separaci. Na druhé straně, chemické procesy mají významný dopad na životní prostředí kvůli toxicitě používaných chemikálií a acidifikaci půdy v okolí. Termické procesy jsou zdrojem emisí, které přispívají k oteplování země a mohou vyvolávat fotochemické reakce, které způsobují smog.

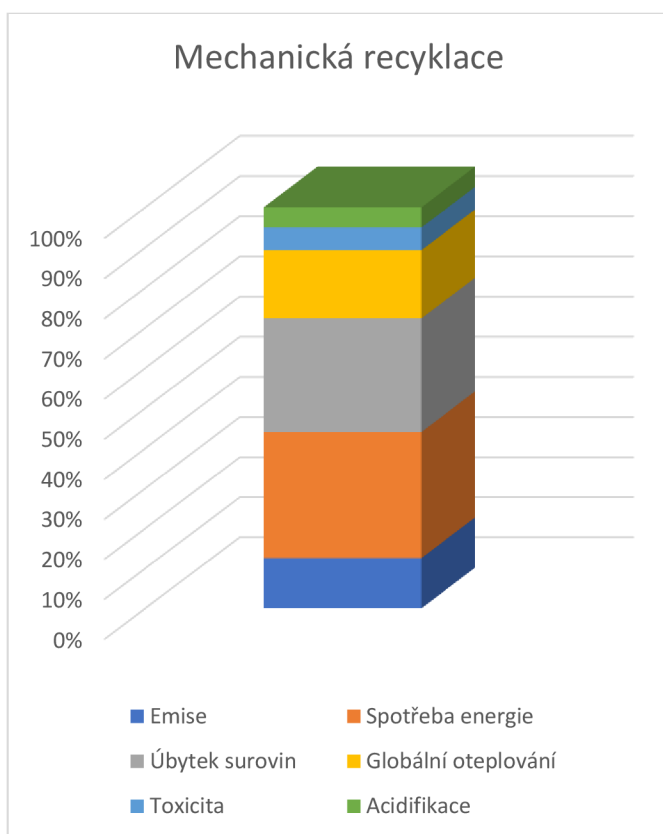
Hodnocení metodou TT ukázalo, že termicko-chemické zpracování je pro životní prostředí větší zátěží než zpracování mechanické. Proto by bylo vhodné omezit chemické zpracování pouze na prvky vyskytující se v počítačích stopově a zbývající materiály separovat mechanicky. Současně by bylo vhodné omezit spalování, a tedy i množství při zpracování vznikajících emisí. Ruční demontáž počítačových součástek zatěžuje životní prostředí, avšak ne tolik jako předchozí způsoby recyklace. Ideální proces kombinuje demontáž, využití součástek a materiálovou recyklaci pouze zbývajících, nerozebíratelných částí. Dopad takového způsobu recyklace na životní prostředí byl by nejnižší, protože díky ruční demontáži je velká část hmotnosti vyseparována ručně.

Graf 3 Rozložení dopadů recyklace termicko-chemickou cestou



Zdroj: (Vlastní zpracování)

Graf 4 Rozložení dopadů recyklace mechanickými metodami



Zdroj: (Vlastní zpracování)

## 4.2 Ekonomické zhodnocení

### 4.2.1 Materiálové hledisko

Již dříve bylo zmíněno, že osobní počítače obsahují mnohem větší množství vzácných kovů než surová ruda - až o dva řády více. To znamená, že recyklace těchto kovů z počítače se jeví jako vhodná a nutná. V posledních letech bylo odhadnuto, že celkové množství jednotlivých kovů použitých k výrobě osobních počítačů bylo značné. Tyto údaje jsou uvedeny v tabulce a jsou založeny na materiálovém složení osobních počítačů a průměrné hmotnosti jednoho personálního počítače (6 kg). Jsou popsány v kapitole 3.7 Materiálové složení osobních počítačů.

Tabulka 6 Obsah nejvýznamnějších surovin v počítačových zařízeních

| Materiál                                    | Au   | Cu | Al | Ag   | Pd   | Fe  | ABS/PC |
|---|------|----|----|------|------|-----|--------|
| Množství kg v 1 tuně recyklovaných počítačů | 0,05 | 40 | 50 | 0,09 | 0,01 | 300 | 170    |

Zdroj: (Vlastní zpracování, (Mathieux, 2018))

Tabulka 7 Odhad počtu materiálů uložených v počítačových zařízeních prodaných po celém světě v období mezi lety 2012 a 2021

| Rok  | Množství prodaných PC ve světě v milionech | Au(t) | Cu(t)     | Al(t)     | Ag(t)   | Pd(t) | Fe(t)       |
|------|--|-------|-----------|-----------|---------|-------|-------------|
| 2012 | 351,06                                     | 877,7 | 702 120,0 | 877 650,0 | 1 579,8 | 175,5 | 4 212 720,0 |
| 2013 | 316,46                                     | 791,2 | 632 920,0 | 791 150,0 | 1 424,1 | 158,2 | 3 797 520,0 |
| 2014 | 313,68                                     | 784,2 | 627 360,0 | 784 200,0 | 1 411,6 | 156,8 | 3 764 160,0 |
| 2015 | 287,68                                     | 719,2 | 575 360,0 | 719 200,0 | 1 294,6 | 143,8 | 3 452 160,0 |
| 2016 | 269,72                                     | 674,3 | 539 440,0 | 674 300,0 | 1 213,7 | 134,9 | 3 236 640,0 |
| 2017 | 262,68                                     | 656,7 | 525 360,0 | 656 700,0 | 1 182,1 | 131,3 | 3 152 160,0 |
| 2018 | 259,76                                     | 649,4 | 519 520,0 | 649 400,0 | 1 168,9 | 129,9 | 3 117 120,0 |
| 2019 | 262,55                                     | 656,4 | 525 100,0 | 656 375,0 | 1 181,5 | 131,3 | 3 150 600,0 |
| 2020 | 309,08                                     | 772,7 | 618 160,0 | 772 700,0 | 1 390,9 | 154,5 | 3 708 960,0 |
| 2021 | 339,77                                     | 849,4 | 679 540,0 | 849 425,0 | 1 529,0 | 169,9 | 4 077 240,0 |

Zdroj: (Vlastní zpracování, (Mathieux, 2018))

#### 4.2.2 Stanovení nákladů na recyklaci

Vzhledem k omezené dostupnosti veřejně dostupných informací týkajících se recyklačních postupů z ekonomického hlediska bylo rozhodnuto použít srovnání nákladů na recyklaci a výnosů z prodeje surovin/součástí jako způsob hodnocení.

Bohužel, nebylo možné získat přesné údaje o nákladech na recyklaci počítačů z veřejných zdrojů, a proto byl proveden odhad na základě dostupných výročních zpráv společností Asekol (ASEKOL, 2023) a REMA Systém (REMA, 2023), které zajišťují recyklaci většiny elektrozařízení, včetně počítačových zařízení, v 6. skupině. Výsledky by měly být co nejbližší skutečnosti vzhledem k tomu, že tyto společnosti dlouhodobě zajišťují recyklaci těchto zařízení.

Tabulka 8 Stanovení nákladů na recyklaci

| Společnost    | Asekol a.s.      |       |            | REMA Systém, a.s. |        |            |
|---------------|------------------|-------|------------|-------------------|--------|------------|
|               | N (tis. Kč)      | Q (t) | n (Kč/kg)  | N (tis. Kč)       | Q (t)  | n (Kč/kg)  |
| 2015          | 198 906          | 17743 | 11,2       | 77 290            | 9 671  | 8,0        |
| 2016          | 176 309          | 19554 | 9,0        | 104 560           | 14 511 | 7,2        |
| 2017          | 171 555          | 19185 | 8,9        | 154 007           | 15 290 | 10,1       |
| 2018          | 199 689          | 18460 | 10,8       | 99 587            | 16671  | 6,0        |
| 2019          | 224 804          | 25619 | 8,8        | 86 149            | 20855  | 4,1        |
| 2020          | 246 760          | 36001 | 6,9        | 125 778           | 22069  | 5,7        |
| Průměr        |                  |       | <b>9,3</b> |                   |        | <b>6,8</b> |
| Celkem průměr | <b>8,1 Kč/kg</b> |       |            |                   |        |            |

Zdroj: (Vlastní zpracování, (ASEKOL, 2023), (ASEKOL, 2023))

Vysvětlivky:

N – provozní náklady společnosti

Q – množství zpracovaného elektroodpadu

### 4.2.3 Stanovení hodnoty materiálů obsažených v počítačových zařízeních

Pro posouzení ekonomického přínosu recyklace počítačů bylo nutné nejprve určit hodnotu materiálů, které obsahují. Proto byla vytvořena tabulka s cenami nejvýznamnějších surovin a pro výpočty byl použit aktuální měnový kurz ČNB ke dni 1.12.2022: 1 USD = 23,304 CZK. (ČNB, 2022)

Tabulka 9 Cena materiálů

| Materiál       | Cena   |        |
|----------------|--------|--------|
|                | USD/g  | CZK/g  |
| Zlato (Au)     | 57,9   | 1343,4 |
| Stříbro (Ag)   | 0,73   | 16,9   |
| Palladium (Pd) | 62,5   | 1450,5 |
|                | USD/Kg | CZK/Kg |
| Železo (Fe)    | 0,1    | 2,3    |
| ABS/PC         | 2,5    | 58,3   |
| Měď (Cu)       | 8,36   | 193,5  |
| Hliník (Al)    | 1,8    | 42     |

Zdroj: (Kurzy.cz)

### 4.2.4 Výtěžnost recyklace

Recyklační procesy se většinou zaměřují na získání cenných kovů. V autorových výpočtech byla zohledněna výtěžnost a čistota až 99% při použití chemických metod (viz kap. 3.8.1). (Szałatkiewicz, 2014)

Při mechanickém zpracování desek plošných spojů lze získat až 97% mědi a separací pomocí jediného průchodu HF ECS (High-force eddycurrent separator) lze získat 90% hliníku s čistotou až 85% (viz kap. 3.8.6). (Jianzhi Li, 2004)

Získání až 90% železa z elektroodpadu lze dosáhnout pomocí magnetů (viz kap. 3.8.9) a menší elektroodpad se zpracovává procesy, jako je třídění a roztřídování.

Pro plastové materiály, jako jsou ABS (Acrylonitrile butadiene styrene) a PC (polykarbonát), byla určena výtěžnost recyklace na 90%. S pomocí metod mechanické recyklace (viz kap. 3.8.8) lze dosáhnout čistoty získaného materiálu až 95%, nebo dokonce teoreticky 100% v případě ruční demontáže. Díky této vysoké čistotě jsou získané materiály téměř identické s původními surovinami, a proto jsou zahrnuty do výpočtu za plnou cenu. (Union, 216)

Tabulka 10 Obsah materiálů a jejich hodnota v 1 tuně počítačových zařízeních

| Materiál        | Měrná jednotka | Obsah | Cena za jednotku (CZK) | Hodnota (CZK) |
|-----------------|----------------|-------|------------------------|---------------|
| Zlato (Au)      | g              | 50    | 1343,4                 | 67170         |
| Stříbro (Ag)    | g              | 90    | 16,9                   | 1521          |
| Palladium (Pd)  | g              | 10    | 1450,5                 | 14505         |
| Železo (Fe)     | kg             | 300   | 2,3                    | 690           |
| ABS/PC          | kg             | 170   | 58,3                   | 9911          |
| Měď (Cu)        | kg             | 40    | 193,5                  | 7740          |
| Hliník (Al)     | kg             | 50    | 42                     | 2100          |
| Celková hodnota |                |       |                        | <b>103637</b> |

Zdroj: (Vlastní zpracování, (Mathieux, 2018), (Kurzy.cz))

Podle tabulky číslo 10 se celková hodnota materiálů obsažených v jedné tuně recyklovaných počítačů rovná 103 637 Kč.

Tabulka 11 Výnosy z prodeje surovin

| Materiál        | Výtěžnost (%) | Čistota (%) | Konečný výnos (Kč)  |
|-----------------|---------------|-------------|---------------------|
| Zlato (Au)      | 99%           | 99,9        | 56523,6             |
| Měď (Cu)        | 96%           | 99          | 6315,8              |
| Hliník (Al)     | 90%           | 85          | 1417,5              |
| Stříbro (Ag)    | 99%           | 99,9        | 1279,9              |
| Palladium (Pd)  | 99%           | 99,9        | 12206,0             |
| Železo (Fe)     | 90%           | 90          | 465,8               |
| ABS/PC          | 85%           | 95          | 8424,4              |
| Celková hodnota |               |             | <b>86 632,87 Kč</b> |

Zdroj: (Vlastní zpracování)

Tabulka číslo 11 uvádí, že prodej 1 tuny recyklovaných počítačových zdrojů přinese celkové výnosy ve výši 86 632,9 Kč

V tabulce 12 je uveden způsob určení výnosů z prodeje. Prodejní cena se vypočítává jako 85 % ceny dané suroviny na burze pro materiály s vyšší čistotou a 75 % pro materiály s nižší čistotou (Al, Fe). Pokud jde o plasty, hodnota získaného materiálu představuje přímou prodejní cenu a není tedy potřeba provádět žádné korekce.

Tabulka 12 Postup výpočtu výnosů

| Suroviny            | Výpočet výnosu                             |
|---------------------|--|
| Čistota > 99 %      | $0,85 * \text{Hodnota} * \text{Výtěžnost}$ |
| Čistota $\leq$ 90 % | $0,75 * \text{Hodnota} * \text{Výtěžnost}$ |
| ABS/PC              | $\text{Hodnota} * \text{Výtěžnost}$        |

Zdroj: (Vlastní zpracování)

## 5 Zhodnocení výsledků materiálové recyklace

Tabulka číslo 13 obsahuje shrnutí dříve získaných hodnot, tedy nákladů na zpracování počítačů a výnosů z prodeje surovin. Náklady, které jsou uvedeny v tabulce, jsou hodnoty spojené s recyklací tuny počítačů. Výnosy jsou poté získány jako součet hodnot uvedených v tabulce číslo 11.

*Tabulka 13 Porovnání zisků a nákladů při recyklaci 1 tuny počítačových zdrojů*

| Výnosy (Kč) | Náklady (Kč) | Zisk (Kč) |
|-------------|--------------|-----------|
| 86632,9     | 8100         | 78532,9   |

*Zdroj: (Vlastní zpracování)*

Po zhodnocení nakládání s vyřazenými počítači lze konstatovat, že recyklace materiálů je ziskovým procesem. To lze potvrdit z dat uvedených v tabulce 13, kde náklady na recyklaci jsou mnohem nižší než výnosy z prodeje získaných surovin.



## 6 Závěr

V rámci této bakalářské práce autor shrnul způsoby nakládání s elektroodpadem a řešil problémy spojené s recyklací starých počítačů. V praktické části práce autor provedl hodnocení recyklace z hlediska ekologie a ekonomiky.

Závěry z ekologického hlediska ukazují, že recyklace může být škodlivá pro životní prostředí a je proto vhodné používat metody s nejnižším dopadem. Mechanické postupy jsou méně škodlivé než termicko-chemické postupy.

Z ekonomického hlediska je recyklace počítačových součástek zisková a prodej funkčních součástek je cestou, jak získat větší hodnotu z vyřazených počítačů.

Nicméně, pro úspěšnou realizaci takového procesu je nezbytné mít dostatečné množství počítačů k recyklaci a poptávku po získaných komponentech.

## 7 Seznam použitých zdrojů

- Alsop, Thomas. 2021.** Total unit shipments of personal computers (PCs) worldwide from 2006 to 2021. *statista*. [Online] 01. 01 2021. [Citace: 10. 06 2022.] <https://www.statista.com/statistics/273495/global-shipments-of-personal-computers-since-2006/#statisticContainer>.
- ASEKOL. 2023.** [asekol.cz/ke-stazeni/](https://www.asekol.cz/ke-stazeni/). *ASEKOL a.s.* [Online] ASEKOL a.s., 01. 01 2023. [Citace: 15. 12 2022.] <https://www.asekol.cz/>.
- average personal computer weighs. *IBM*. [Online] [Citace: 02. 07 2022.] [https://www.ibm.com/docs/en/warehouse-management/9.4.0?topic=screens-weigh-station-screen&mhsrc=ibmsearch\\_a&mhq=computer%20weighs](https://www.ibm.com/docs/en/warehouse-management/9.4.0?topic=screens-weigh-station-screen&mhsrc=ibmsearch_a&mhq=computer%20weighs).
- CeHO, Centrum pro hospodaření s odpady. 2009.** ČESKÁ REPUBLIKA A ELEKTROODPAD. *Centrum pro hospodaření s odpady*. [Online] 2009. [Citace: 10. 06 2022.] <https://www.ceho.cz/index.php/cz/elektricka-a-elektronicka-zarizeni/ceska-republika-a-elektroodpad>.
- ČESKO. 2014.** Data historie. [Online] 23. 09 2014. [Citace: 10. 06 2022.] <https://dfs.caoh.cz/p/datahistorie/article/sb0096-2014.pdf>.
- , **2001.** Zákon č. 185/2001 Sb. *Zákony pro lidi.cz*. [Online] 15. 1 2001. [Citace: 10. 06 2022.] <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-185#p4-1-m>.
- , **2005.** zákony pro lidi. [Online] 15. 09 2005. [Citace: 10. 06 2022.] <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2005-352>.
- ČNB. 2022.** Kurzy devizového trhu. *Česká národní banka*. [Online] 1. 12 2022. [Citace: 2. 12 2022.] <https://www.cnb.cz/cs/financni-trhy/devizovy-trh/kurzy-devizoveho-trhu/kurzy-devizoveho-trhu/>.
- ČSÚ. 2021.** Česká republika od roku 1989 v číslech - aktualizováno 9.12.2021. [Online] 9. 12 2021. [Citace: 10. 06 2022.] <https://www.czso.cz/csu/czso/ceska-republika-od-roku-1989-v-cislech-aktualizovano-9122021>.
- EMPA. 2015.** Materials & Technology for a Sustainable Future. *EMPA*. [Online] 26. 04 2015. [Citace: 01. 06 2022.] <https://www.empa.ch/>.
- Hennessy, John L a Patterson, David A. 1998.** *Computer organization and design*. San Francisco : Morgan Kaufmann Publishers, 1998. 9781558604285.
- Hobrand, Martin. 2021.** *Odpad domácí: Vastum domesticis*. Praha : Concept 42, 2021. 8088059038.
- IBM. 2021.** IBM Sterling Warehouse Management System. *IBM*. [Online] 02. 03 2021. [Citace: 06. 07 2022.] [https://www.ibm.com/docs/en/warehouse-management/9.4.0?topic=screens-weigh-station-screen&mhsrc=ibmsearch\\_a&mhq=computer%20weighs](https://www.ibm.com/docs/en/warehouse-management/9.4.0?topic=screens-weigh-station-screen&mhsrc=ibmsearch_a&mhq=computer%20weighs).
- Jianzhi Li, Puneet Shrivastava, Zong Gao, Hong-Chao Zhang. 2004.** *Printed circuit board recycling: A state-of-the-art survey*. [Dokument] 2004. 1521-334X/04.
- Klaus Hieronymi, Ramzy Kahhat, Eric Williams. 2012.** *E-Waste Management. From Waste to Resource*. místo neznámé : Routledge, 2012. ISBN 9781849714020.
- Kudláček, Ivan. 2021.** Recyklace konkrétních OEEZ. *EKP*. [Online] 04. 02 2021. [Citace: 01. 06 2022.]
- Kurzy.cz.** Kurzy měn. *Kurzy.cz*. [Online] Kurzy.cz, spol. s r.o. [Citace: 2022. 12 1.] <https://www.kurzy.cz/>. ISSN 1801-8688.
- Kuthan, Jiří. 2021.** *Cyrkl*. [Online] 05. 03 2021. [Citace: 01. 06 2022.] <https://cyrkl.com/cs/elektrostaticky-separator-unikatni-ceska-technologie-recykluje-plasty-s-cistotou-99>.

- Mathieux, Fabrice. 2018.** JRC Science Hub. [Online] 03. 01 2018. [Citace: 01. 07 2022.] <https://joint-research-centre.ec.europa.eu/>. 978-92-79-64943-1.
- Mihai, Florin-Constantin. 2016.** *E-Waste in Transition - From Pollution to Resource*. Croatia : InTechOpen, 2016. 978-953-51-2499-3.
- Ministerstvo životního prostředí .** Ministerstvo životního prostředí . *Ministerstvo životního prostředí*. [Online] [Citace: 01. 06 2022.] <https://www.mzp.cz/>.
- REMA, Systém. 2023.** Výroční zpráva REMA Systém za rok 2020. *REMA Systém*. [Online] REMA Systém, 01. 01 2023. [Citace: 2023. 02 02.] <https://www.rema.cloud/clanek/vyrocnizprava-rema-system-za-rok-2021>.
- Rollinson, A. N., Oladejo, J. M. 2019.** 'Patented blunderings', efficiency awareness, and selfsustainability claims in the pyrolysis energy from waste sector. *Resources, Conservation and Recycling*. 2019. 233-242.
- Shubham Gupta, Gaurav Modi ,Rahul Saini , VijayaAgarwala. 2014.** *A review on various electronic waste recycling techniques*. místo neznámé : International Refereed Journal of Engineering and Science, 2014. 2319-1821.
- Smil, Václav. 2017.** *Jak se vyrábí dnešní svět*. místo neznámé : Albatros Media a.s., 2017. 8026507061.
- Sobh, Tarek. 2010.** *Innovations and Advances in Computer Sciences and Engineering*. místo neznámé : Springer Science & Business Media, 2010. 9789048136582.
- System, Goudsmit Magnetic. 2018.** WAMAG. *WAMAG*. [Online] 01. 03 2018. [Citace: 01. 06 2022.] <https://www.wamag.cz/produkty/separatory-nezelezných-kovu>.
- Szałatkiewicz, Jakub. 2014.** Metals Content in Printed Circuit Board Waste. *Polish Journal of Environmental Studies*. [Online] 01. 06 2014. [Citace: 01. 06 2022.] <http://www.pjoes.com>. 1230-1485.
- . 2014. *Metals Content in Printed Circuit Board Waste*. [Dokument] Warszawa, Poland : autor neznámý, 2014. 2365-2369.
- Tesárek, Jan. 2015.** Dopad likvidace fotovoltaických panelů na ŽP. *BAKALÁŘSKÁ PRÁCE*. Praha : autor neznámý, 2015.
- Thomé-Kozmiensky, E., Winter, F. a Juchelková, D. 2019.** *Evaluation of Recent Developments Regarding Alternative Thermal Waste Treatment with a Focus on Depolymerisation Processes*. Neuruppin : Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH, 2019. 978-3-944310-48-0.
- Trebichavský, J., Havrdova, D., Blohberger, M. 1997.** *Technologie recyklace elektronického odpadu*. *Odpady*. 1997.
- Union, European. 216.** *Periodic Reporting for period 3 - CloseWEEE (Integrated solutions for pre-processing electronic equipment, closing the loop of post-consumer high-grade plastics, and advanced recovery of critical raw materials antimony and graphite)*. [Dokument] Germany : European Union, 216. ID: 641747.

## 8 Seznam obrázků, tabulek, grafů a zkratk

### 8.1 Seznam obrázků

|  |    |
|--|----|
| Obrázek 1 Material composition of a typical computer ..... | 22 |
| Obrázek 2 Elektrostatický separátor .....                  | 26 |

### 8.2 Seznam tabulek

|  |    |
|--|----|
| Tabulka 1 Provozovatelé kolektivních systémů se souhlasem pro zajištění financování nakládání s elektroodpady a s historickými elektrozařízeními ..... | 16 |
| Tabulka 2 Aktuální výše recyklačního poplatku za PC u některých zpracovatelů .....   | 18 |
| Tabulka 3 Desktop-computer bill of materials (BoM) according to Song et al. (2013).....  | 22 |
| Tabulka 4 Definice vstupů a výstupů procesů .....  | 28 |
| Tabulka 5 Zhodnocení negativních dopadů .....  | 29 |
| Tabulka 6 Obsah nejvýznamnějších surovin v počítačových zařízeních .....   | 32 |
| Tabulka 7 Odhad počtu materiálů uložených v počítačových zařízeních prodaných po celém světě v období mezi lety 2012 a 2021 .....                      | 32 |
| Tabulka 8 Stanovení nákladů na recyklaci .....   | 33 |
| Tabulka 9 Cena materiálů .....   | 34 |
| Tabulka 10 Obsah materiálů a jejich hodnota v 1 tuně počítačových zařízeních.....  | 35 |
| Tabulka 11 Výnosy z prodeje surovin .....  | 35 |
| Tabulka 12 Postup výpočtu výnosů .....   | 35 |
| Tabulka 13 Porovnání zisků a nákladů při recyklaci 1 tuny počítačových zdrojů .....  | 36 |

### 8.3 Seznam grafů

|  |    |
|--|----|
| Graf 1 Vývoj počtu českých domácností vybavených osobním počítačem .....   | 19 |
| Graf 2 Celkové jednotkové dodávky osobních počítačů (PC) po celém světě od roku 2006 do roku 2021 (v milionech jednotek) ..... | 20 |
| Graf 3 Rozložení dopadů recyklace termicko-chemickou cestou .....  | 30 |
| Graf 4 Rozložení dopadů recyklace mechanickými metodami .....  | 31 |

### 8.4 Seznam použitých zkratk

|            |                                 |
|------------|---------------------------------|
| <b>ABS</b> | Acrylonitrile butadiene styrene |
| <b>PC</b>  | Polykarbonát                    |
| <b>ČR</b>  | Česká republika                 |
| <b>TT</b>  | Top twenty                      |
| <b>EU</b>  | Evropská unie                   |
| <b>ŽP</b>  | Životní prostředí               |
| <b>Sb.</b> | Sbírka zákonů                   |

|               |   |
|---------------|---|
| <b>OEEZ</b>   | Odpadní elektrická a elektronická zařízení                |
| <b>MŽP</b>    | Ministerstvo životního prostředí                          |
| <b>DPS</b>    | Desky plošných spojů                                      |
| <b>PHE</b>    | Příspěvek na nakládání s „historickými“ elektrozařízeními |
| <b>PNE</b>    | Příspěvek na nakládání s „novými“ elektrozařízeními       |
| <b>ČNB</b>    | Česká národní banka                                       |
| <b>HF ECS</b> | High-force eddycurrent separator                          |
| <b>BoM</b>    | Bill of Materials   |
| <b>MFA</b>    | Material flow analysis                                    |
| <b>IBM</b>    | International Business Machines Corporation               |