

Mendelova univerzita v Brně
Agromická fakulta
Ústav zemědělské, potravinářské a environmentální techniky



Analýza prvkového složení vybraného elektroodpadu

Diplomová práce

Vedoucí práce:

Bc. Ing. Jan Kudělka

Vypracovala:

Bc. Jana Polická

Brno 2016



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Zpracovatelka: **Bc. Jana Polická**

Studijní program: **Technologie odpadů**

Obor: **Technologie a management odpadů**

Konzultant: **Ing. Tomáš Koutný**

Název tématu: **Analýza prvkového složení vybraného elektroodpadu**

Rozsah práce: **50 – 70 stran**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte rešeršní studii týkající se problematiky zpětného odběru a zpracování elektroodpadů v závislosti na současné platné legislativě.
2. Charakterizujte elektroodpad, jež byl vybrán pro experimentální měření a s ním spojený způsob nakládání.
3. Sestavte metodiku a proveďte experimentální analytické měření. Zjištěné výsledky zhodnoťte a interpretejte.
4. Za pomoci zjištěných výsledků vyvoďte závěry a doporučení pro praxi.



Seznam odborné literatury:

1. BROŽOVÁ, S. *Elektroodpad – analýza a možnosti využití*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2008. 99 s. ISBN 978-80-248-1867-2.
2. KURAŠ, M. – DIRNER, V. – SLIVKA, V. *Odpadové hospodářství*. 1. vyd. Chrudim: Ekomonitor, 2008. 143 s. ISBN 978-80-86832-34-0.
3. BENCKO, V. – CIKRT, M. – LENER, J. *Toxické kovy v životním a pracovním prostředí člověka*. 2. vyd. Praha: Grada Publishing, 1995. 282 s. ISBN 80-7169-150-X.
4. TLUSTÁ, P. – PECINOVÁ, A. *Využití odpadů – analýza elektroodpadu v České republice*. Chrudim: Vodnízářje Ekomonitor, 2005. 91 s. ISBN 80-86832-12-0.
5. JONŠTA, P. – MALCHARCZIKOVA, J. – VÁNOVA, P. *Možnosti recyklace a využití elektroodpadu*. Ostrava: VŠB-TU-Ostrava, 2008. 62 s. ISBN 978-80-248-1864-1.
6. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2012/19/ES o odpadních elektrických a elektronických zařízeních
7. Vyhláška 352/ 2005 Sb. o podrobnostech nakládání s elektrozařízeními a elektroodpady a o bližších podmínkách financování nakládání s nimi ve znění pozdějších předpisů
8. Zákon č. 185/2001 Sb. o odpadech a o změně některých dalších zákonů

Datum zadání diplomové práce: říjen 2014

Termín odevzdání diplomové práce: duben 2016

L. S.

Polická

Bc. Jana Polická
Autorka práce



Kudělka

Bc. Ing. Jan Kudělka
Vedoucí práce

Mareček

prof. Ing. Jan Mareček, DrSc., dr. h. c.
Vedoucí ústavu

Mendel

doc. Ing. Pavel Ryant, Ph.D.
Děkan AF MENDELU

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci: Analýza prvkového složení vybraného elektroodpadu vypracovala samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou *Směrnici o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědoma, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne: 27. 4. 2016

.....

podpis

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala vedoucímu práce panu Bc. Ing. Janu Kudělkovi za odborné vedení, cenné rady a konzultace, které mi během zpracovávání diplomové práce poskytoval. Dále bych také ráda poděkovala firmě WEEE, a. s., že mi umožnila uskutečnit výzkum, bez něhož by tuto práci nebylo možné zrealizovat.

ABSTRAKT

POLICKÁ, J. *Analýza prvkového složení vybraného elektroodpadu*. Diplomová práce. Brno: MUAFF, 2016.

Diplomová práce na téma Analýza prvkového složení vybraného elektroodpadu se zaměřuje na hmotnostní zastoupení vzácných kovů v základních procesorových jednotkách. Byla sepsána literární rešerše vybrané dostupné literatury s cílem charakterizovat legislativní rámec nakládání s elektroodpady a problematiku zpětného odběru vybraného elektroodpadu v Evropské unii, zejména na území České republiky. V praktické části byla provedena analýza vybraných vzorků základních procesorových jednotek osobních počítačů vyrobených v letech 2000-2009. Za pomoci metody rentgenové fluorescenční spektrometrie bylo zjištěno, jak se mění množství jednotlivých prvků v průběhu vývoje těchto jednotek. Na základě výsledků realizovaných šetření lze konstatovat, že zkoumané vzorky obsahují ekonomicky využitelné vzácné kovy. V závěru byla vyhodnocena použitá metoda ke zjištění prvkového složení a na základě porovnání výsledků s jinými autory určeno, zda se drahé kovy z procesorů dají potenciálně ekonomicky využít.

Klíčová slova:

OEEZ (Odpady z elektrických a elektronických zařízení), zpětný odběr, základní procesorová jednotka, vzácné kovy, rentgenová fluorescenční spektrometrie.

ABSTRACT

POLICKÁ, J. *Analysis of the elemental composition of selected electrical waste*. Diploma thesis. Brno: MUAFF, 2016.

This diploma thesis is focused on the issue of Analysis of the elemental composition of selected electrical waste (Waste Electrical and Electronic Equipment). The main goal is to determine amount of rare metals contained in central processing unit (CPU). The literature search was formed from available literature with the purpose to characterize the legislative framework for waste electrical and electronic equipment and the issue of collection of the selected e-waste in the European Union, particularly in the Czech Republic. In the practical part was analyzed selected samples of central processing units produced in 2000-2009. With the help of X-ray fluorescence spectrometry method was found to vary the amount of each element during the development of these units. Based on the results of completed survey we can conclude that the investigated samples contain economically usable elements. In the conclusion was evaluated the method which was used to determine the elemental composition and results was compared with other authors. This serves to see whether rare metals of processor that could be potentially economically exploited.

Key words:

WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment), collection of WEEE, central processing unit, rare metals, X-ray fluorescence spectrometry.

OBSAH

1	ÚVOD	10
2	CÍL PRÁCE.....	12
3	LITERÁRNÍ REŠERŠE.....	13
3.1	Odpady z elektrických a elektronických zařízení (OEEZ).....	13
3.1.1	Legislativní rámec nakládání s OEEZ	13
3.2	Povinnosti výrobce	15
3.2.1	Roční zpráva.....	16
3.2.2	Evidence toku OEEZ.....	16
3.2.3	Zápis do Seznamu výrobců	16
3.2.4	Finanční povinnost	16
3.2.5	Informační povinnost výrobce	17
3.2.6	Označování elektrozařízení.....	17
3.2.7	Registr míst zpětného odběru.....	18
3.2.8	Způsoby plnění povinností.....	19
3.2.9	Povinnost zpětného odběru	22
3.2.10	Využití elektroodpadu	28
3.3	Zpracovatelé elektroodpadu	32
3.3.1	Technické požadavky na zařízení pro nakládání s elektroodpady.....	32
3.4	Recyklace plošných spojů	33
3.4.1	Metody získávání drahých kovů z plošných spojů	34
3.5	Metody zjišťování prvkového složení	34
3.5.1	Optická emisní spektrometrie (OES)	34

3.5.2	Atomová absorpční spektrometrie (AAS).....	34
3.5.3	Jiskrový výboj	35
3.5.4	Metoda rentgenové fluorescenční spektrometrie (XRF).....	35
3.6	Spektrometry	40
3.6.1	Rentgenový fluorescenční spektrometr	40
3.6.2	Vlnově disperzní rentgenové spektrometry (WDXRF)	40
3.7	Příprava kovových vzorků k analýze.....	41
3.7.1	Metody přípravy kovových vzorků.....	42
4	METODIKA.....	44
5	VÝSLEDKY	47
5.1	Charakteristika procesorů značky AMD	47
5.2	Výsledky analýzy procesorů AMD	49
5.2.1	Hmotnostní zastoupení zlata v procesorech AMD.....	50
5.2.2	Hmotnostní zastoupení palladia v procesorech AMD	51
5.2.3	Hmotnostní zastoupení stříbra v procesorech AMD.....	52
5.3	Charakteristika procesorů značky Intel	52
5.4	Výsledky analýzy procesorů Intel	55
5.4.1	Hmotnostní zastoupení zlata v procesorech Intel.....	56
5.4.2	Hmotnostní zastoupení palladia v procesorech Intel	58
5.4.3	Srovnání dvou typů procesorů Intel Celeron	60
5.5	Srovnání procesorů AMD a Intel	62
5.6	Další významné prvky	63
6	DISKUZE VÝSLEDKŮ	65
7	ZÁVĚR.....	71
	PŘEHLED POUŽITÉ LITERATURY	72

SEZNAM OBRÁZKŮ	77
SEZNAM TABULEK.....	79
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	81
PŘÍLOHY	82
SEZNAM PŘÍLOH.....	83

1 ÚVOD

Problematika elektroodpadu a nakládání s ním se v České republice začala řešit podrobněji až vstupem do Evropské unie. Na základě toho ČR transponovala směrnici Evropského parlamentu a Rady 2002/96/ES do svého vnitrostátního práva zákonem č. 185/2001 Sb. a následně vyhláškou č. 352/2005 Sb. Směrnice však z důvodů nesrozumitelnosti a nepřehlednosti byla přepracována.

Novelizací této směrnice je směrnice 2012/19/EU o odpadních elektrických a elektronických zařízeních. Směrnice upravuje díl 8 (§ 37 f – § 37 s) zákona o odpadech. Stanovuje povinnosti výrobců elektrozařízení, distributorů a posledních prodejců a to tak, že musí být zřízena místa zpětného odběru elektrozařízení a odděleného sběru elektroodpadu dle § 37k. Tímto ustanovením mohou koneční uživatelé zdarma odevzdat nepotřebné elektrozařízení bezplatně v místě zpětného odběru a odděleného sběru odpadních elektrických a elektronických zařízení.

Jak uvádí Ministerstvo životního prostředí ČR každý rok je na český trh uvedeno průměrně 185 000 t elektrozařízení. V Evropské unii je to dle Eurostatu přibližně 9 900 000 t elektrozařízení za rok. Do roku 2008 byl tento trend narůstající, než se v roce 2009 projevila ekonomická krize, která započala v roce 2007. Od této doby je množství uváděných elektrozařízení na trh jak v ČR, tak v EU nižší.

Tato produkce je spojena i s narůstající produkcí elektroodpadu. Elektroodpad obsahuje škodlivé látky a materiály, které negativně ovlivňují životní prostředí. Na výrobu elektrozařízení je potřeba velké množství přírodních zdrojů, což způsobuje zatížení naší Země. Využitelné materiály je možné a zároveň velmi výhodné recyklovat a tím druhotně využít.

Třetí nejvýznamnější skupinou elektrozařízení, co do množství uváděného na trh, je dle MŽP skupina č. 3 Zařízení informačních technologií a telekomunikační zařízení. Diplomová práce je zaměřena právě na zařízení patřící do této skupiny. Účelem práce je analyzovat prvkové složení základních procesorových jednotek (podskupina 3.4 Osobní počítače) se zaměřením na hmotnostní zastoupení vzácných prvků.

Analýza byla provedena pomocí rentgenové fluorescenční spektrometrie za použití ručního rentgenového spektrometru. Na základě analýzy bylo zjištěno, že zkoumané

procesory obsahují ekonomicky využitelné vzácné kovy jako je zlato nebo palladium. Naopak stříbro, které je svými vlastnostmi výhodné pro výrobu elektroniky, téměř nebylo analyzováno.

2 CÍL PRÁCE

Cílem práce je určit prvkové složení základních procesorových jednotek osobních počítačů. Zejména pak určit hmotnostní zastoupení vzácných kovů, které jsou ve vybraných vzorcích obsaženy.

K dosažení hlavního cíle je zapotřebí vytýčit si cíle dílčí, ke kterým patří:

- vypracování studie týkající se problematiky zpětného odběru a zpracování elektroodpadů v závislosti na současně platné legislativě ve vztahu k řešené problematice,
- charakteristika elektroodpadu vybraného pro experimentální měření a způsob nakládání s ním,
- sestavení metodiky a provedení experimentálního analytického měření,
- zhodnocení a interpretace výsledků a doporučení pro praxi.

3 LITERÁRNÍ REŠERŠE

3.1 Odpady z elektrických a elektronických zařízení (OEEZ)

Odpad je každá movitá věc, které se osoba zbavuje nebo má úmysl nebo povinnost se jí zbavit. Každý původce odpadů má povinnost odpad třídit dle kategorií stanovených vyhláškou č. 381/2001 Sb., Katalog odpadů. Elektrozařízení, které již neplní svoji funkci a osoba se jí zbavuje, se stává včetně svých komponentů elektroodpadem. (Zákon č. 185/2001 Sb.) Jedná se o odpad z elektrických a elektronických zařízení, který vzniká ve všech oblastech lidské činnosti (v domácnosti, průmyslu, obchodu, dopravě atd.) Tento elektroodpad obsahuje řadu nebezpečných složek (těžké kovy, polychlorované bifenyly, difenylethery, freony, atd.), které mohou mít negativní vliv na životní prostředí. Zároveň však obsahuje i množství hodnotných druhotných surovin (např. plasty, sklo, vzácné kovy, aj.). Z těchto důvodů je ekonomicky výhodné a samozřejmě environmentálně žádoucí tento odpad recyklovat a dále využít. Proto se nakládáním s odpady z elektrických a elektronických zařízení zabývá řada zákonů, směrnic, vyhlášek, norem apod. (Junga, Vítěz, Trávníček, 2015)

3.1.1 Legislativní rámec nakládání s OEEZ

Základním legislativním dokumentem upravujícím tuto problematiku je směrnice Evropského parlamentu a Rady 2012/19/ES o odpadních elektrických a elektronických zařízeních, která byla do českého vnitrostátního práva transponována zákonem č. 185/2001 Sb. o odpadech a změně některých dalších zákonů. Díl 8 §37 tohoto zákona zpracovává příslušné předpisy Evropské unie a upravuje povinnosti výrobcům, posledním prodejcům, distributorům a konečným uživatelům elektrických a elektronických zařízení, zpracovatelům elektrických a elektronických zařízení, která se stala odpadem, a pověřeným zástupcům výrobců.

Navazujícími právními předpisy jsou vyhláška č. 237/2002 Sb., která se zabývá podrobnostmi způsobu provedení zpětného odběru některých výrobků, a zejména pak vyhláška č. 352/2005 Sb. o podrobnostech nakládání s elektrozařízeními a elektroodpady a o bližších podmínkách financování nakládání s nimi ve znění pozdějších předpisů.

Nejdůležitější související terminologie:

- *elektrické nebo elektronické zařízení* (dále jen "elektrozařízení") - 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. Výjimkou jsou zařízení určená výlučně pro účely obrany státu,
- *elektroodpad* - elektrozařízení, které se stalo odpadem, včetně komponentů, konstrukčních dílů a spotřebních dílů, které v tom okamžiku jsou součástí zařízení,
- *opětovné použití* – znamená použití zpětně odebraného nebo odděleně sebraného elektrozařízení nebo komponentů takového elektrozařízení bez jejich dalšího přepracování ke stejnému účelu, pro který byly původně určeny,
- *zpracování elektroodpadu* - jakákoli operace prováděná po převzetí elektroodpadu do zařízení ke zpracování elektroodpadu za účelem jeho dekontaminace, demontáže, dracení, využití nebo přípravy na odstranění nebo jakákoli jiná činnost provedená s cílem využití nebo odstranění elektroodpadu,
- *elektrozařízení pocházející z domácností* - použité elektrozařízení pocházející z domácností nebo svým charakterem a množstvím jemu podobný elektroodpad od právnických osob a fyzických osob oprávněných k podnikání; o elektrozařízení pocházející z domácností se jedná vždy, je-li elektrozařízení možné použít jak v domácnostech, tak i jinými konečnými uživateli,
- *zpětný odběr elektrozařízení* - 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* - odebírání použitých elektrozařízení nepocházejících z domácností od konečných uživatelů v místě odděleného sběru,
- *místo zpětného odběru* - místo určené výrobcem, ve kterém jsou zpětně odebírána elektrozařízení pocházející z domácností,

- *místo odděleného sběru* - místo určené výrobcem, ve kterém je odděleně sbírán elektroodpad.
- *konečný uživatel* dle zákona o odpadech je právnická nebo fyzická osoba užívající výrobek, na který se vztahuje povinnost zpětného odběru, před ukončením jeho životnosti, před jeho odevzdáním do místa zpětného odběru nebo odděleného sběru,
- *poslední prodejce* - právnická osoba nebo fyzická osoba oprávněná k podnikání, která bez ohledu na způsob prodeje, včetně použití prostředků komunikace na dálku (31n), dodává v rámci své podnikatelské činnosti elektrozařízení konečnému uživateli. (Zákon č. 185/2001 Sb.)

Vyhláška č. 352/2005 Sb. dále vymezuje 10 skupin elektrozařízení, viz příloha č. 1 této vyhlášky. Elektrozařízení, které je předmětem šetření lze zařadit do 3. skupiny – **Zařízení informačních technologií a telekomunikačních zařízení, podskupina 3.4 Osobní počítače**. Výčet 3. skupiny elektrozařízení se nachází v příloze č. 1. Od srpna 2018 dojde ke změně zařazení z důvodů snížení počtu skupin elektrozařízení na šest.

3.2 Povinnosti výrobce

Výrobcem je právnická osoba nebo fyzická osoba oprávněná k podnikání, která se sídlem v ČR:

- pod vlastní značkou vyrábí a uvádí elektrozařízení na trh,
- prodává pod vlastní značkou elektrozařízení vyrobená jinými dodavateli,
- dováží nebo prodává elektrozařízení dovezená z jiného státu,
- má sídlo v zahraničí a prodává elektrozařízení prostřednictvím internetu z jiného státu (tzv. zahraniční výrobce plnící povinnosti přes pověřeného zástupce). (Asekol, 2014)

Výrobce, který nemá sídlo v České republice má povinnost určit svého *pověřeného zástupce* na základě písemného pověření. Může jím být pouze právnická nebo fyzická osoba oprávněná k podnikání, která je usazená v České republice, a zodpovídá za plnění povinností zahraničního výrobce. (Zákon č. 185/2001 Sb.)

I v případě, že se jedná pouze o osobu usazenou v jiném členském státě Evropské unie, která v České republice uvádí elektrozařízení na trh, může si na základě písemného pověření určit svého pověřeného zástupce. Povinnosti na něj spadají od okamžiku jeho zápisu do Seznamu. (Zákon č. 185/2001 Sb.)

3.2.1 Roční zpráva

Povinností výrobce a povinné osoby je zpracovávat *roční zprávu* o plnění povinnosti zpětného odběru za uplynulý kalendářní rok. Zpráva se zasílá do 31. 3. následujícího roku na Ministerstvo životního prostředí elektronicky prostřednictvím informačního systému ISPOP (Integrovaný systém plnění ohlašovacích povinností). (CE-NIA, 2012)

3.2.2 Evidence toku OEEZ

Výrobce nebo provozovatel kolektivního systému musí také *vést evidenci toku zpětně odebraných elektrozařízení a odděleně sebraného elektroodpadu* od místa zpětného odběru nebo místa odděleného sběru až po zpracování, využití a odstranění elektroodpadu v rozsahu stanoveném prováděcím právním předpisem. (Vyhláška č. 352/2001)

3.2.3 Zápis do Seznamu výrobců

Každý výrobce elektrozařízení je povinen podat návrh na zapsání do *Seznamu výrobců elektrozařízení*, který je informačním systémem veřejné správy. Návrh na zápis podává výrobce nebo pověřený zástupce dle §37i ministerstvu k rozhodnutí v listinné a elektronické podobě, nebo v elektronické podobě podepsané uznávaným podpisem nebo prostřednictvím datové schránky a to nejpozději do 60 dnů od vzniku povinnosti. Jestliže výrobce převedl povinnosti na pověřeného zástupce, který je v Seznamu zapsán, nemá povinnost podat návrh na zápis do Seznamu. (Zákon č. 185/2001)

3.2.4 Finanční povinnost

Součástí návrhu na zápis je popis zajištění financování nakládání s elektrozařízeními pocházejícími z domácností a s elektroodpady nepocházejícími z domácností, bez ohledu na datum uvedení na trh. (Zákon č. 185/2001 Sb.)

Po srpnu 2005 je výrobce elektrozařízení s výjimkou solárních panelů před uvedením elektrozařízení na trh povinen poskytnout záruku prokazující, že nakládání s elektroodpadem bude finančně zajištěno. Musí zajistit financování zpětného odběru, zpracování, využití a odstranění elektrozařízení pocházejícího z domácností, které bylo zpětně odebráno. Stejně tak je povinen zajistit financování odděleného sběru, zpracování, využití a odstranění elektroodpadu. (Zákon č. 185/2001 Sb.)

3.2.5 Informační povinnost výrobce

Povinná osoba má zároveň zajistit informovanost prodejců a spotřebitelů o možnostech zpětného odběru svého výrobku poslednímu prodejci. Tyto informace předávané spotřebiteli by měly zahrnovat: (Vyhláška č. 237/2002 Sb.)

- a) název a adresu, případně telefonní kontakt,
- b) druhy zpětně odebíraných výrobků,
- c) provozní dobu zařízení,
- d) upozornění na bezplatnost zpětného odběru.

3.2.6 Označování elektrozařízení

Elektrozařízení, na které se vztahuje oddělený sběr nebo zpětný odběr musí být označeno grafickým symbolem „přeškrtnuté a podtržené popelničky“. Toto označování je dáno vyhláškou č. 352/2005 Sb.

Tento symbol vyjadřuje, že elektrozařízení nesmí být vyhozeno do komunálního odpadu, ale má být sbíráno odděleně. Ze zákona musí být všechna elektrozařízení uvedená na trh po dni 13. srpna 2005 se označují symbolem výrobce a symbolem uvedení na trh. (Zákon č. 185/2001)



Obrázek 1: Symbol elektrozařízení, na něž se vztahuje zpětný odběr, Zdroj: <http://www.remasystem.cz/index.php/obcane/zakladni-pojmy.html>

3.2.7 Registr míst zpětného odběru

Dle §37s zákona o odpadech byl Ministerstvem životního prostředí zřízen tzv. *Registr míst zpětného odběru*. Slouží k poskytování informací pro veřejnou zprávu o místech zpětného odběru a jejich údajích. Registr je veřejně přístupný a umožňuje i dálkový přístup. (Zákon č. 185/2001 Sb.)

Výrobce elektrozařízení, která jsou určena pro používání v domácnostech, je povinen vkládat dálkovým přístupem údaje do Registru a aktualizovat je. Změny musí provádět nejpozději do 30 dnů od okamžiku, kdy nastala skutečnost zakládající změnu údaje. (Zákon č. 185/2001 Sb.)

3.2.7.1 Místa zpětného odběru

Lidé mohou odkládat vysloužilý elektrospotřebič na místa k tomu vyhrazená. Těmito místy jsou tzv. místa zpětného odběru. Elektroodpady jsou z těchto míst předávány do zpracovatelských a recyklačních zařízení. Elektrozařízení nepocházející z domácností se odevzdávají na místech pro oddělený sběr. Přičemž tato místa jsou určena výrobcí. (Zákon č. 185/2001 Sb.)

Pro tyto účely slouží např. červené kontejnery, červené popelnice, nebo tzv. E-boxy o obsahu 80 l. Do těchto boxů se odkládají především drobná elektrozařízení. Často bývají umístěny uvnitř budov. Červené stacionární kontejnery na sběr drobných elektrozařízení uvedl na trh jako první kolektivní systém ASEKOL v roce 2007, přičemž dodnes jich rozmístil po celé ČR více jak 2 100 ks. Objem sběrné nádoby je 2,15 m². Do červených kontejnerů mohou koneční uživatelé odkládat veškerá drobná zařízení z kanceláře i domácnosti, baterie a akumulátory. (ASEKOL, 2014) Dále je lidem umožněno odkládat elektroodpad do sběrných dvorů, prodejen elektrospotřebičů, do servisů a opraven, mobilních kontejnerů. (CENIA, 2013)

V případě, že elektrozařízení bylo uvedeno na trh do dne 13. srpna 2005, je povinností konečného uživatele, který není spotřebitelem, zajistit financování zpětného odběru, zpracování, využití a odstranění elektrozařízení pocházejícího z domácností, které bylo zpětně odebráno. To se týká i odděleně sebraného elektroodpadu. Po tomto datu tato povinnost přechází na výrobce elektrozařízení. (Zákon č. 185/2001 Sb.)

3.2.8 Způsoby plnění povinností

Výrobce musí plnit povinnosti stanovené pro oddělený sběr, zpětný odběr, zpracování, využití a odstranění elektrozařízení a elektroodpadu. *Tyto povinnosti může dle vyhlášky č. 352/2005 plnit třemi způsoby:*

- 1) *individuálně* (samostatně) – každý výrobce si plní své povinnosti samostatně, organizačně a technicky na vlastní náklady,
- 2) *solidárně* - společně s jiným výrobcem nebo výrobcí a to na základě písemné smlouvy,
- 3) prostřednictvím *kolektivních systémů* – na základě smlouvy za výrobce a dovozce plní povinnosti odděleného sběru a zpětného odběru kolektivní systém.

3.2.8.1 Kolektivní systémy v ČR

Dle tabulky č. 1, která znázorňuje počet podaných hlášení za ohlašovací období 2011-2014 lze konstatovat, že většina výrobců elektrozařízení plní své povinnosti v rámci kolektivního systému, kterých je v ČR evidováno 15. Pouze 59 výrobců elektrozařízení určených k použití v domácnosti plnilo své povinnosti v rámci individuálního způsobu. Jeden výrobce plnil své povinnosti solidárním způsobem. (MŽP, 2014 – 2016)

Tabulka 1: Počet podaných řádných hlášení za ohlašovací období 2011 – 2014 do ISPOP, Zdroj: Vlastní dle MŽP 2014 - 2016

Typ ohlašovatele	2011	2012	2013	2014
Individuální systém	52	59	60	59
Solidární systém	1	1	1	1
Kolektivní systém	6	8	15	15
Celkem	59	68	76	75

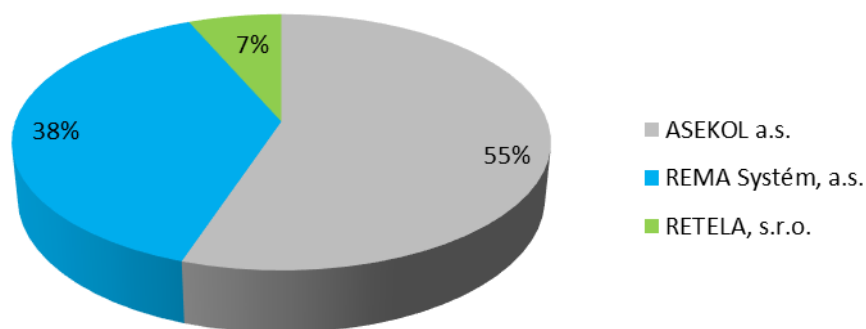
Provozovatelé kolektivních systémů v České republice pro ohlašovací rok 2014 jsou uvedeni na internetových stránkách MŽP.

Nejvíce elektrozařízení z hlediska hmotnosti uvedli na trh výrobci plnící své povinnosti prostřednictvím kolektivního systému ASEKOL a.s., který zaujímá ve všech

letech nejvyšší množství zpětně odebraných elektrozařízení a elektroodpadů, jak je uvedeno v tabulce č. 2.

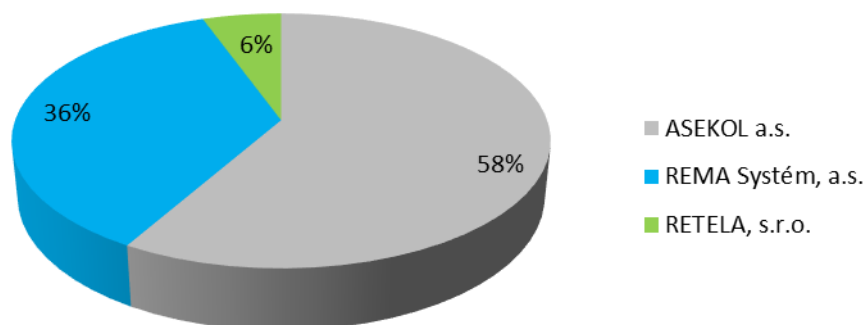
Tabulka 2: Množství elektrozařízení skupiny 3 uvedených na trh výrobci zapsanými v Seznamu výrobců elektrozařízení (v rámci kolektivních systémů) a množství zpětně odebraných elektrozařízení a odděleně sebraných elektroodpadů těmito výrobci za ohlašovací rok 2012, Zdroj: Vlastní dle MŽP 2014 – 2016

Výrobce elektrozařízení/kolektivní systém	EEE uvedené na trh [t]			Celkem zpětný odběr a oddělený sběr elektroodpadů [t]		
	2012	2013	2014	2012	2013	2014
ASEKOL a.s.	15 737,520	25 847,220	21 890,460	5 537,522	5 099,270	5 042,880
OFO - recycling s.r.o.	1,992	13,770	28,490	0,000	0,000	0,300
REMA Systém, a.s.	18 991,770	20 596,650	19 737,790	3 850,042	3 166,920	3 003,490
RETELA, s.r.o.	3 814,545	2 683,500	1 814,330	656,167	482,300	763,420
Individuální systémy	225,586	185,440	184,930	2,886	4,720	2,950
ZENTEK CZ s.r.o.	0,002			0,002		
Výrobce elektrozařízení/kolektivní systém	Zpětný odběr elektrozařízení [t]			Oddělený sběr elektroodpadů [t]		
	2012	2013	2014	2012	2013	2014
ASEKOL a.s.	4 905,711	4 499,890	5 032,580	631,811	599,380	10,300
OFO - recycling s.r.o.	0,000	0,000	0,300	0,000	0,000	0,000
REMA Systém, a.s.	3 850,042	3 166,920	2 977,150	0,000	0,000	26,340
RETELA, s.r.o.	656,167	482,300	763,420	0,000	0,000	0,000
Individuální systémy	0,000	0,230	0,200	0,000	4,490	2,750
ZENTEK CZ s.r.o.	0,002			0,000		



Obrázek 2: Kolektivní systémy s nejvyšším procentuálním podílem zpětného odběru a odděleného sběru OEEZ ze skupiny 3 za ohlašovací rok 2012, Zdroj: Vlastní dle MŽP, 2014

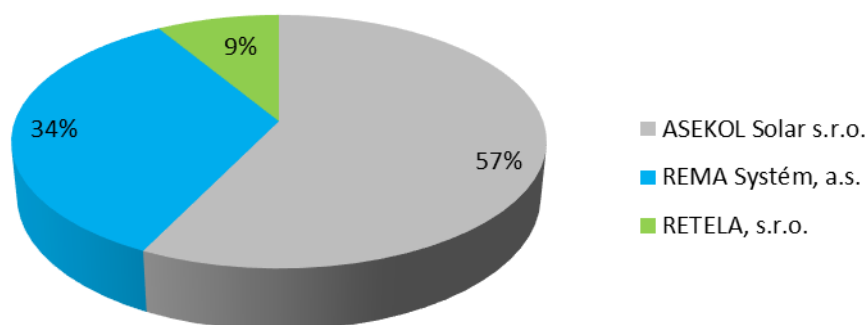
V grafu (obr.č. 2) jsou vyobrazeny kolektivní systémy, které mají nejvyšší procentuální podíl na zpětně odebraných a odděleně sebraných elektrozařízení skupiny 3 pro rok 2012. Akciová společnost ASEKOL a.s. zaujímá nejvyšší procentuální podíl s 5 537 tunami (tabulka č. 2) OEEZ za rok. Další významný podíl zaujímá kolektivní systém REMA Systém, a.s., která za ohlašovací období 2012 zpětně odebrala přes 3 800 t OEEZ. Následovala ji firma RETELA, s.r.o. s pouhými 656 t.



Obrázek 3: Kolektivní systémy s nejvyšším procentuálním podílem zpětného odběru a odděleného sběru OEEZ ze skupiny 3 za ohlašovací rok 2013, Zdroj: Vlastní dle MŽP, 2015

V roce 2013 nejvyšší podíl v počtu zpětně odebraných OEEZ skupiny 3 zaujímá opět ASEKOL a.s. a to 58% (5 099 t) jak ukazuje graf na obrázku č. 3., přičemž jeho podíl narostl v důsledku snížení odebraného množství dalšími kolektivními systémy. V roce 2013 došlo k celkovému poklesu odebraného množství OEEZ 3. skupiny. Je to

možný důsledek toho, že v roce 2012 bylo na trh uvedeno o 10 000 t zařízení informačních technologií a telekomunikačních zařízení méně než v předešlém roce. Další kolektivní systémy podílející se na zpětném odběru a odděleném sběru s největším zastoupením jsou uvedeni v tabulce č. 2.



Obrázek 4: Kolektivní systémy s nejvyšším procentuálním podílem zpětného odběru a odděleného sběru OEEZ ze skupiny 3 za ohlašovací rok 2014, Zdroj: Vlastní dle MŽP, 2016

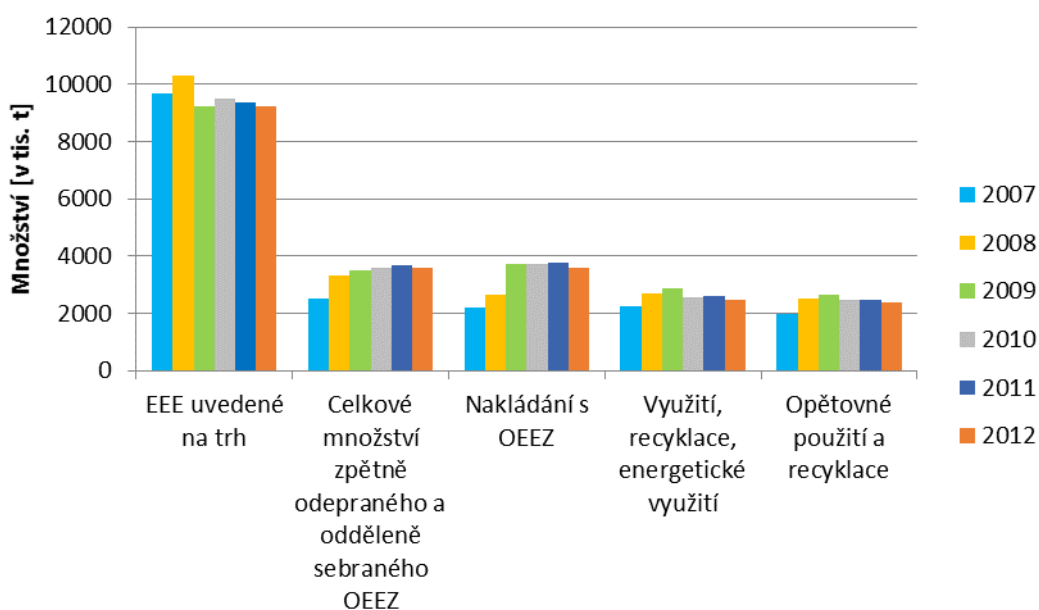
Kolektivní systém ASEKOL a.s. dosáhl nejvyššího podílu sběru i v roce 2014, a to 50,4%. Jako druhý dle dosaženého množství zpětného odběru OEEZ je kolektivní systém REMA Systém, a.s (9%). Nejnižší podíl sběru ve sledovaném období naopak vykazuje kolektivní systém OFO – recycling s.r.o (0,300 t) a individuální systémy (2,950 t).

3.2.9 Povinnost zpětného odběru

Na výrobce se dále vztahuje i povinnost zpětného odběru některých výrobků a zpětného odběru elektrozařízení a oddělený sběr elektroodpadu, která je upravena zákonem č. 185/2001 Sb., a vyhláškou č. 237/2002 Sb. Povinnost zpětného odběru se dle zákona o odpadech vztahuje na baterie a akumulátory, výbojky a zářivky, pneumatiky. Tato práce se zaměřuje na poslední skupinu a to elektrozařízení pocházející z domácností, která je současně upravena vyhláškou č. 352/2005 Sb. Pro elektroodpad, který nepochází z domácností, musí výrobce zajistit jeho oddělený sběr. (CENIA, 2012)

3.2.9.1 Bilance zpětného odběru v EU dle statistiky Eurostat

V grafu na obrázku č. 5 jsou znázorněny trendy v počtu uváděných elektrických a elektronických zařízení na trh, sebraných OEEZ a nakládání s nimi v rámci EU za období 2007-2012. Eurostat neuvádí novější data, k jejich aktualizaci by mělo dojít v březnu 2016.



Obrázek 5: Množství elektrozařízení uvedených na trh a výsledky zpětného odběru a odděleného sběru v EU v letech 2007 – 2012, Zdroj: Vlastní dle Eurostat, 2015

V roce 2008, jak uvádí Eurostat (2015), množství EEZ uvedených na trh vzrostlo o více jak 600 000 tun (7,1 %) z 9,5 milionu tun na 10,2 milionu tun. V roce 2009 naopak došlo k poklesu o 1,2 milionů tun tedy o 11,3 %. V následujícím roce došlo opět k nárůstu počtu uvedených EEZ téměř na 9,5 milionů tun jak tomu bylo v roce 2007, avšak v letech 2011 a 2012 dochází k recesi. V roce 2011 poklesl počet o 2,8 % a v roce 2012 o dalších 1,1 %.

Oddělený sběr a zpětný odběr OEEZ v letech 2007 – 2011 stabilně rostl, avšak tempo meziročního růst zpomalilo. V roce 2012 poklesl počet odděleně sebraných OEEZ klesl na 3,5 milionu tun.

Třetí sloupeček grafu na obrázku č. 5 poukazuje na nakládání s OEEZ. Trend byl narůstající jako u odděleného sběru. V roce 2012 bylo nakládáno s 3,6 miliony tunami OEEZ. Z toho 2,6 milionu tun elektroodpadu bylo opětovně využito. Získané množství bylo zastoupeno 2,4 miliony tunami recyklovaného OEEE a 0,2 miliony tunami, které byly použity na výrobu energie.

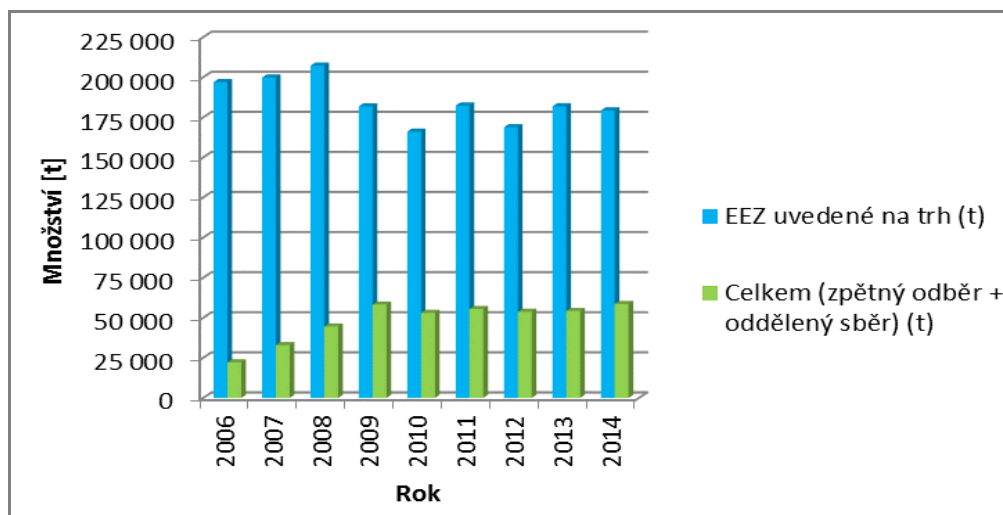
3.2.9.2 Bilance zpětného odběru v ČR dle Ministerstva životního prostředí

Tabulka 3: Množství elektrozařízení uvedených na trh a výsledky zpětného odběru a odděleného sběru v ČR v letech 2006 – 2014, Zdroj: Vlastní dle MŽP, 2016

Ohlašovací období	EEZ uvedené na trh [t]	Zpětný odběr EEZ [t]	Oddělený sběr [t]	Celkem (zpětný odběr + oddělený sběr) [t]	Úroveň zpětného odběru a odděleného sběru elektroodpadů [%]	Úroveň zpětného odběru a odděleného sběru elektroodpadů [kg/obyv./rok]
2006	196 967	21 138	1 032	22 170	11,3	2,2
2007	199 857	31 581	1 348	32 929	16,5	3,2
2008	207 207	43 858	676	44 534	21,5	4,3
2009	181 844	56 643	1 563	58 206	32,0	5,5
2010	166 063	52 119	870	52 989	31,9	5,0
2011	182 324	54 818	620	55 438	30,4	5,3
2012	168 840	51 972	1 704	53 676	29,3	5,1
2013	181 886	50 257	3 959	54 215	29,8	5,2
2014	179 328	55 062	3 523	58 585	32,7	5,6

Jak uvádí MŽP (2016) v České republice množství elektrozařízení uvedených na trh v rozmezí let 2006 až 2008 mělo narůstající trend, jak lze vidět v tabulce č. 3 a k ní v grafu (obr. č. 6). Kdy v roce 2008 bylo uvedeno na trh přes 200 000 t elektrozařízení. Naopak v roce 2009 dopadla na českou ekonomiku hospodářská krize započatá již v roce 2007, která se projevila na snížení množství nákupu elektrozařízení spotřebiteli a konečnými uživateli. Množství EEZ uvedených na trh v roce 2009 kleslo o více jak 40 000 t oproti předešlým rokům. Tento klesající trend pokračoval i v roce 2010. V roce 2011 výrobci uvedli na trh 182 324 t výrobků, tento nárůst však doprovázela v dalším roce druhá vlna hospodářské krize. V následujících letech bylo množství výrobků uvedených na trh kolísající, jedná se průměrně o 180 000 t za rok.

Nejvyšší nárůst úrovně zpětného odběru a odděleného sběru elektroodpadů na jednoho obyvatele byl v roce 2009, a to o 1,1 kg. Nárůst souvisí s navýšením množství celkem zpětně odebraného elektrozařízení a odděleně sebraného elektroodpadu. Oproti roku 2008 vzrostl o 13 672 t. Také v roce 2014 úroveň zpětně odebraného a odděleného sběru elektroodpadů na jednoho obyvatele vzrostla o 0,4 kg.



Obrázek 6: Množství elektrozařízení uvedených na trh, zpětný a oddělený sběr v ČR za období, Zdroj: Vlastní dle MŽP, 2016

Tabulka č. 4 znázorňuje celkové množství zpětně odebraných elektrozařízení a odděleně sebraných elektroodpadů dle skupin v letech 2011 – 2014 v ČR a jejich procentuální zastoupení na celkovém množství.

Tabulka 4: Množství zpětně odebraných elektrozařízení a odděleně sebraných elektroodpadů dle skupin v ČR v letech 2011 – 2014, Zdroj: Vlastní dle MŽP, 2014 - 2016

Skupina EEZ	Rok	2011		2012		2013		2014	
		Množství [t]	Množství [%]	Množství [t]	Množství [%]	Množství [t]	Množství [%]	Množství [t]	Množství [%]
1		25 617,85	46,21	24 302,61	45,27	25 925,13	47,82	27 828,20	47,50
2		2 943,73	5,31	2 993,85	5,58	4 111,97	7,58	6 234,60	10,64
3		9 865,82	17,80	10 046,62	18,71	8 753,21	16,15	8 813,04	15,04
4		14 666,19	26,46	13 877,37	25,85	12 308,26	22,70	12 769,49	21,80
5		1 177,51	2,12	1 076,80	2,01	1 812,15	3,34	1 336,77	2,28

6	663,26	1,20	827,34	1,54	652,33	1,20	998,84	1,70
7	233,89	0,42	352,19	0,66	319,07	0,59	267,93	0,46
8	82,69	0,15	50,31	0,09	116,98	0,22	92,16	0,16
9	116,55	0,21	93,99	0,18	166,08	0,31	191,86	0,33
10	70,72	0,13	63,81	0,12	50,16	0,09	51,84	0,09
Celkem	55 438,21	100,00	53 684,89	100,00	54 215,34	100,00	58 584,73	100,00

Hmotnostně nejvýznamnější skupinou zpětně odebíraných a odděleně sebraných elektroodpadů je skupina 1 - Velké domácí spotřebiče. Zaujímá zhruba 46 %. Další významný procentuální podíl zaujímá skupina č. 4 - Spotřebitelská zařízení a solární panely. Její podíl je průměrně 24 % z celkově sebraného elektroodpadu. Třetí největší zastoupení v počtu zpětně odebíraných a odděleně sebraných elektroodpadů má skupina č. 3 - Zařízení informačních technologií a telekomunikační zařízení, průměrně 16,92 %, kam spadá i elektroodpad zkoumaný v rámci této diplomové práce.

Tabulka č. 5 a graf (obr. č. 7) k ní (MŽP, 2016) uvádí množství elektrozařízení skupiny č. 3 (Zařízení informačních technologií a telekomunikační zařízení) uvedených na trh a výsledky zpětného odběru a odděleného sběru této skupiny elektrozařízení v letech 2011 – 2014.

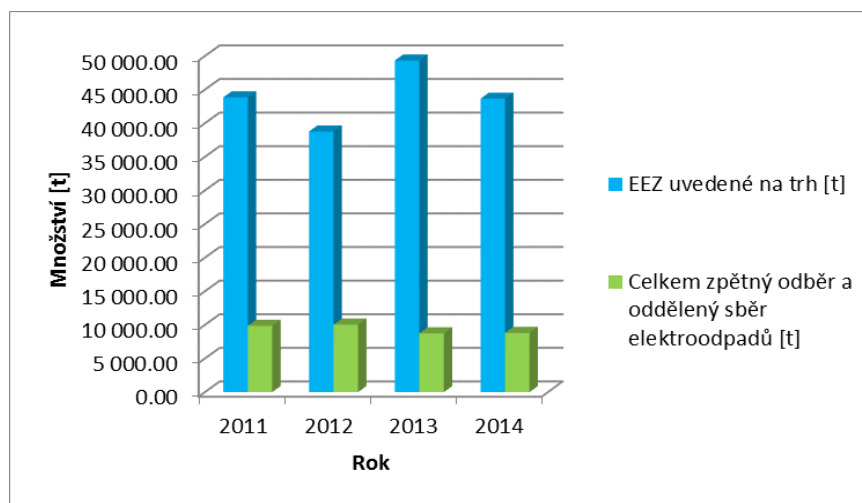
Jak lze vidět v grafu na obrázku č. 7, nejvyšší nárůst množství uvedeného elektrozařízení skupiny č. 3 na trh bylo v roce 2013. Zároveň v tomtéž roce došlo k největšímu celkovému nárůstu sebraného množství elektrozařízení ze strany výrobců a kolektivních systémů. V dalších letech byl tento trend klesající. Snižuje se množství uváděných elektrozařízení na trh, přičemž se snižuje rozdíl mezi množstvím elektrozařízení uvedeným na trh a celkově zpětně odebraným a odděleně sebraným elektroodpadem.

Tabulka 5: Množství elektrozařízení skupiny 3 uvedených na trh a výsledky zpětného odběru a odděleného sběru v ČR v letech 2011 – 2014, Zdroj: Vlastní dle MŽP, 2014 - 2016

Rok	EEZ uvedené na trh [t]	Celkem zpětný odběr a oddělený sběr elektroodpadů [t]	Zpětný odběr elektrozařízení [t]	Oddělený sběr elektroodpadů [t]
2011	43 843,90	9 865,82	9 779,00	86,82
2012	38 771,42	10 046,62	9 411,92	634,70
2013	49 326,58	8 753,21	8 149,34	603,87
2014	43 656,00	8 813,04	8 773,65	39,39

Jak je z grafu na obrázku č. 7 zřejmé, v letech 2011 a 2014 bylo na trh uváděno více jak 43 000 t elektrozařízení. Nejvyšší nárůst v uvedeném množství elektrozařízení na trh byl zaznamenán v roce 2013, kdy oproti roku 2012 se toto množství zvýšilo o více než 10 000 t.

Lze si všimnout, že zpětný odběr a oddělený sběr elektroodpadů v České republice sice splňuje požadavky EU, avšak je stále malé množství elektrozařízení zpětně odebráno oproti tomu, kolik je ho ročně uvedeno na trh. Množství EEZ uvedených na trh je přibližně 40 000 t za rok. Množství zpětně odebraného elektrozařízení a odděleně sebraného elektroodpadu je až 5ti násobně nižší než množství EEZ uvedených na trh ve sledovaném období. Trend celkem zpětně odebraných elektrozařízení a odděleně sebraných elektroodpadů je však ustálený, průměrně se za rok vybere kolem 9 000 t těchto OEEZ.



Obrázek 7: Množství elektrozařízení skupiny 3 uvedených na trh a výsledky zpětného odběru a odděleného sběru v letech 2011-2014, Zdroj: Vlastní dle MŽP, 2014 - 2016

3.2.10 Využití elektroodpadu

Výrobce elektrozařízení by měl vytvořit systém, který stanoví, jak bude zajištěno využití elektroodpadu navazující na zpětný odběr elektrozařízení nebo oddělený sběr elektroodpadu. Elektrozařízení, která byla zpětně odebraná a odděleně sebraná se před předáním zpracovateli přednostně opětovně použijí jako celek. Opětovně je možné použít pouze elektrozařízení či jejich komponenty, které splňují požadavky příslušných právních předpisů. (Zákon č. 185/2001 Sb.)

Povinností výrobce je zajistit využívání elektroodpadu tvořeného elektrozařízeními uvedenými ve skupinách 3 a 4 předaného zpracovatelům minimálně v rozsahu 75 % jeho průměrné hmotnosti a opětovné použití a materiálové využití komponentů, materiálů a látek v rozsahu 65 % jeho průměrné hmotnosti. (Junga, Vítěz, Trávníček, 2015)

3.2.10.1 Přehled využití elektroodpadu z elektrozařízení skupiny 3

Tabulka 6: Přehled využití elektroodpadů z elektrozařízení skupiny č. 3 a porovnání s požadavky zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech za Českou republiku za ohlašovací období 2012 - 2014 a porovnání s požadovanou mírou využití EU, Zdroj: Vlastní dle MŽP, 2014 -2016

Rok	Zpracované množství [t]	Využití (materiálové, energetické, vývoz, jiný způsob nakládání) [t]	Míra využití [%]	Požadovaná míra využití EU [%]	Opětovné a materiálové využití [t]	Míra recyklace (opětovné využití + materiálové využití) [%]	Požadovaná míra opětovného a materiálového využití EU [%]
2012	8 119,86	6 863,91	84,53	75,00	7 770,79	95,70	65,00
2013	7 612,05	6 600,35	86,71	75,00	7 156,63	94,02	65,00
2014	8 976,81	7 766,58	86,52	75,00	8 188,81	91,22	65,00

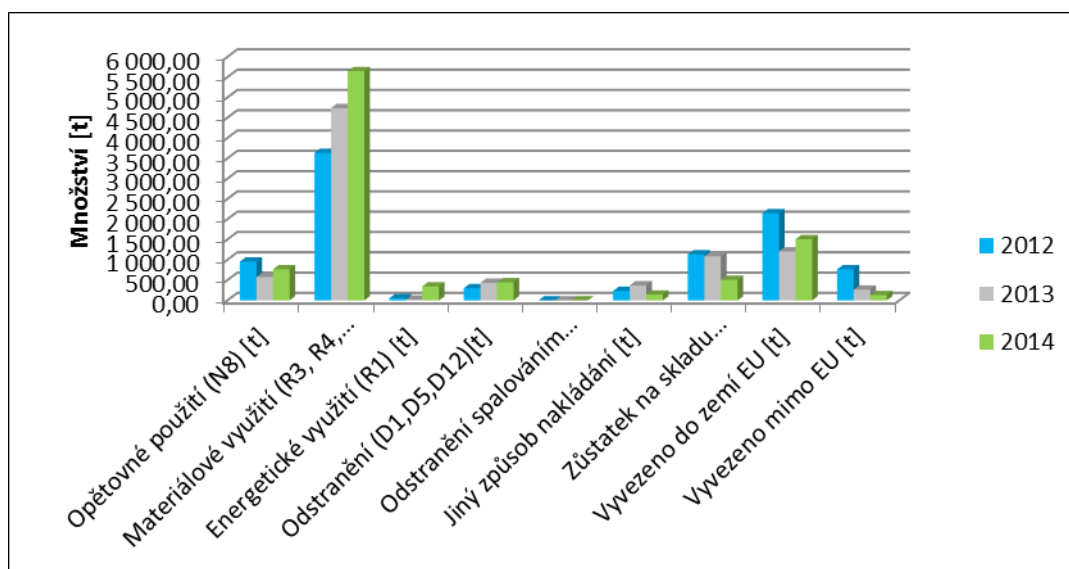
Tabulka č. 6 zobrazuje vyhodnocení plnění povinností využití elektroodpadů dle MŽP (2014 – 2016). Vyhodnocuje se soulad s požadavky § 37m zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech za Českou republiku ve sledovaném období 2012 - 2014. Na základě tohoto vyhodnocení byla stanovena míra využití a míra opětovného a materiálového využití elektrozařízení a elektroodpadů. Česká republika, plní tyto požadavky ve všech zmíněných skupinách.

3.2.10.2 Nakládání se zařízeními informačních technologií a telekomunikačními zařízeními

Tabulka 7: Nakládání s elektrozařízeními skupiny č. 3 a elektroodpadem v ČR za ohlašovací období 2012 – 2014, Zdroj: Vlastní dle MŽP, 2014 - 2016

Rok	Opětovné použití (N8) [t]	Materiálové využití (R3, R4, R5, R6, R9, R11, N10) [t]	Energetické využití (R1) [t]	Odstranění (D1, D5, D12) [t]	Odstranění spalováním (D10) [t]	Jiný způsob nakládání [t]	Zůstatek na skladu (N5, R13, D15) [t]	Vyvezeno do zemí EU [t]	Vyvezeno mimo EU [t]	Celkem nakládáno [t]
2012	955,40	3 633,24	48,52	300,54	0,00	233,62	1 132,74	2 148,80	766,74	9 252,60
2013	576,78	4 737,31	20,50	434,92	0,00	369,85	1 087,60	1 207,18	265,51	8 699,65
2014	765,66	5 648,77	343,43	444,56	0,01	140,47	503,86	1 505,62	128,30	9 480,68

V České republice je dle grafu na obrázku č. 8 nejvíce upřednostňováno materiálové využití a to za celé sledované období (2012 – 2014). Průměrně bylo materiálově využito 4 600 t elektroodpadu. Zajímavé je i množství zařízení informačních technologií a telekomunikačních zařízení zpětně vyřazených z používání, které bylo vyvezeno do zemí EU. V roce 2012 bylo vyvezeno přes 2000 t elektroodpadu ze skupiny č. 3. V následujících letech byl tento trend klesající, nicméně i tak se vyvezlo přes 1000 t tohoto odpadu. Naopak nejméně se v ČR využívá odstranění těchto informačních a telekomunikačních zařízení skupiny č. 3 spalováním (tab. 7). Jak uvádí MŽP celkem se ročně nakládá v průměru s 9 000 t elektrozařízení ze sledované skupiny.



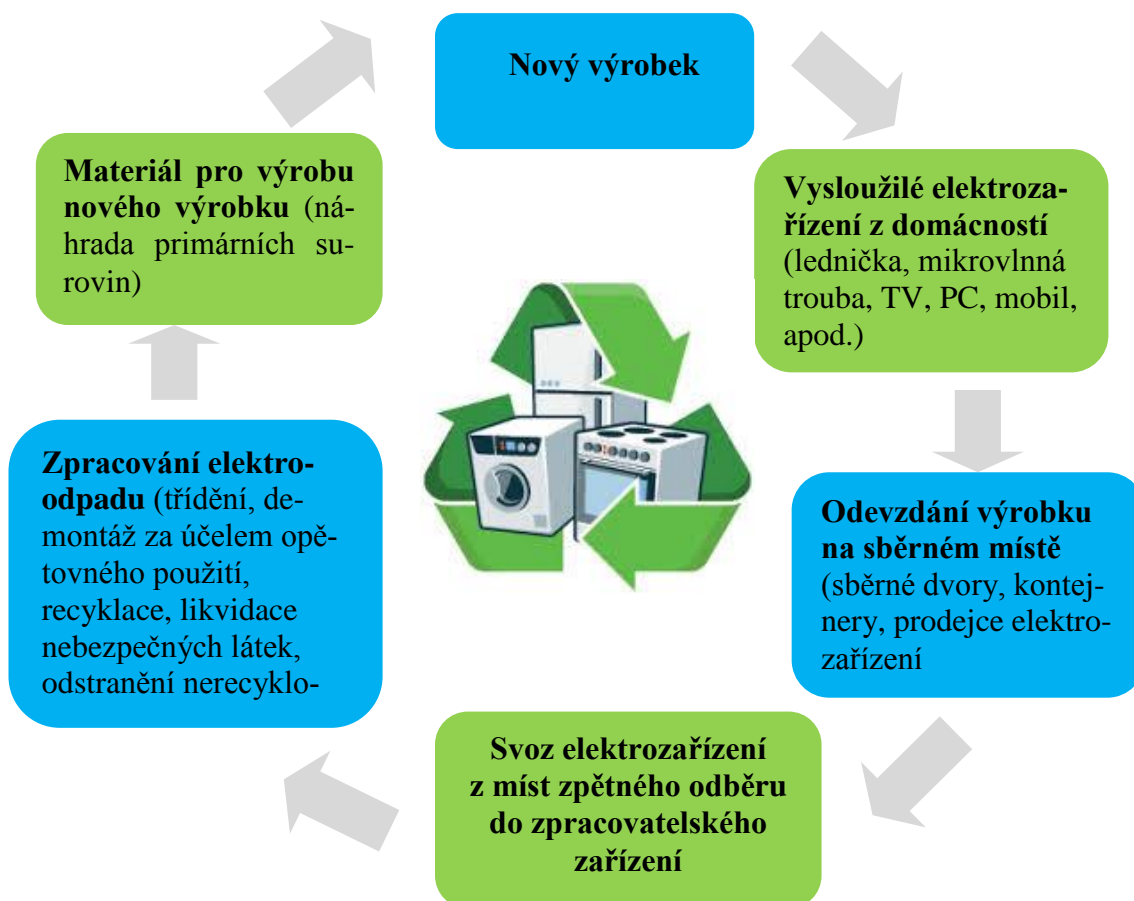
Obrázek 8: Nakládání s elektrozařízeními skupiny č. 3 a elektroodpadem v ČR za ohlašovací období 2012 – 2014, Zdroj: Vlastní dle MŽP, 2014 - 2016

3.2.11 Zpracování OEEZ

Zpracování elektronického a elektrického odpadu je v současné době často zmiňovaná problematika. Tyto elektroodpady obsahují spoustu látek a materiálů, které zatěžují životní prostředí, ale zároveň obsahují i materiály, které je možné recyklovat a tím druhotně využít. (MŽP, 2016)

Každý výrobce vytvoří systém pro zpracování elektroodpadu za použití nejlepších dostupných technik jeho zpracování, využívání a materiálového využívání. Jeho povinností je následně poskytovat bezplatně veškeré potřebné informace zpracovatelům

elektroodpadu, aby mohli odpad zpracovat a připravit k jeho opětovnému použití. Jedná se především o údaje o obsažených nebezpečných látkách, možnostech opětovného použití elektrozařízení a materiálového využití nebo způsobu jejich odstranění. Informace musí být uvedeny již výrobcem elektrozařízení před jejich uvedením na trh. (Zákon č. 185/2001 Sb.)



Obrázek 9: Průběh zpětného odběru elektrozařízení, Zdroj: Vlastní dle CENIA, 2014

3.3 Zpracovatelé elektroodpadu

Elektroodpad obsahuje těžké kovy (např. Cd, Pb, a Hg), luminofory v obrazovkách a zářivkách, displeje na bázi tekutých krystalů tzv. LCD nebo látky, které poškozují ozonovou vrstvu. Proto je potřeba zajistit sběr odpadních elektrických a elektronických zařízení odděleně od jiných druhů odpadů. Následně jsou odpady tříděny a demontovány na jednotlivé materiály, které je možné recyklovat. (MŽP, 2016)

Úkolem zpracovatele je přednostně odstranit z elektroodpadu všechny látky a součásti stanovené prováděcím právním předpisem, skladovat a zpracovávat elektroodpad s technickými požadavky stanovenými legislativními předpisy a zajistit využití elektroodpadu. (Zákon č. 185/2001 Sb.) Měl by tak být výrobci dostatečně informován jak elektrozařízení zpracovávat, o obsahu nebezpečných látek, možnostech opětovného využití a materiálového využití elektroodpadů.

Tuto činnost provozuje zpracovatel v zařízení ke zpracování elektroodpadu v souladu s jeho provozním řádem. Zpracovatel rovněž musí vést v rozsahu stanoveném prováděcím právním předpisem evidenci o převzatém elektroodpadu a způsobu jeho zpracování a zasílat příslušnému správnímu úřadu údaje o zařízení. (Zákon č. 185/2001 Sb.)

3.3.1 Technické požadavky na zařízení pro nakládání s elektroodpady

Místo, které slouží ke skladování nebo shromažďování elektroodpadu musí splňovat dané technické požadavky. Musí být umístěno na zpevněné ploše, která je nepropustná vůči únikům nebezpečných látek a vybavena zařízeními na jímání jejích případných úniků. Dalším technickým požadavkem jsou pomůcky pro úklid, látky pro absorpci uniklých provozních kapalin, zařízení pro odstranění uniklých kapalin, shromažďovací prostředky pro vznikající odpady a další zařízení pro úpravu odpadů a jejich přemístování. (Junga, Vítěz, Trávníček, 2015)

Místo, kde se elektroodpad zpracovává, musí být opatřeno jednak vhodným zařízením ke stanovování hmotnosti zpracovávaného elektroodpadu, vhodnými nádobami pro skladování baterií, akumulátorů, zařízení obsahující PCB nebo PCT a další nebezpečné látky. Důležité je zajistit pozemek vhodným skladovacím prostorem, kde se bu-

dou uchovávat demontované díly a součástky a vybudovat zařízení pro čištění odpadních vod. To vše by mělo být umístěno na zpevněné nepropustné podlaze, jako místo pro skladování a zpracování elektroodpadů. (Junga, Vítěz, Trávníček, 2015)

3.4 Recyklace plošných spojů

Plošné spoje jsou propojovací a nosné elementy elektronických prvků obsažených v elektrozařízení. Nachází se v nich velké množství různorodých elektronických prvků, proto je s nimi spojena i obtížná recyklace.

Jak již bylo zmíněno, desky obsahují množství jak nebezpečných látek, tak drahých kovů, na které se v rámci této práce zaměřuji. V počítačové technice a průmyslové elektronice se nejčastěji používají základní materiály na bázi skleněných tkanin. (Junga, Vítěz, Trávníček 2015)

Tyto plošné spoje musí být před recyklací očištěny od veškerých elektronických součástí. Poté je možné použít metodu mechanického odstranění vhodnou pro selektivní separaci součástek. Na základě této metody se mechanicky odstraní piny z vhodných komponent. (Junga, Vítěz, Trávníček 2015)

Dalším možným postupem je tavení. Při něm dochází k roztavení cínových spojů a uvolnění pinů součástek. Tento proces probíhá tak, že se umístí plošný spoj pod ochranný kryt na hliníkovou desku s topným tělesem, která se ohřeje na teplotu 350 - 400°C. (Junga, Vítěz, Trávníček 2015)

Je možné také využít metodu řezání. Deska se umístí do upínacího rámu, kde dojde k odříznutí pinů pilou na kov. (Junga, Vítěz, Trávníček 2015)

Další technologický postup využívaný při recyklaci plošných spojů je jejich drcení. K tomu slouží břitové drtící stroje, granulární mlýny, řezací zařízení nebo brousky. (Junga, Vítěz, Trávníček 2015)

Lze použít i metodu kryogenního drcení. Odpad je hluboce podchlazen na teplotu - 100 až - 170°C a následně se podrtí. (Junga, Vítěz, Trávníček 2015)

Využívá se i separace materiálů z drti. Tato metoda je založena na oddělování jednotlivých materiálů v prostředí kapaliny na základě rozdílné hustoty. Má několik

kroků: magnetickou separaci, vibrační třídění, elektrostatickou separaci a následně gravitační úpravu. (Junga, Vítěz, Trávníček 2015)

3.4.1 Metody získávání drahých kovů z plošných spojů

V návaznosti na řešenou problematiku v této diplomové práci a zvolený OEEZ pro výzkum, jsou následující metody vhodné pro získávání drahých kovů z plošných spojů:

- 1) kyanidové loužení. Lze takto snadno a selektivně izolovat zlato loužením zředěnými roztoky alkalických kyanidů. Aby metoda byla účinná, musí být pozlacený materiál obnažen. Metoda má vysokou účinnost a nedochází ke znehodnocení kovů,
- 2) sulfáto-nitrátový postup využívaný pro separaci paladia. Vzniklé roztoky se po denitraci redukují formaldehydem a tak se získá palladium. (Junga, Vítěz, Trávníček 2015)

3.5 Metody zjišťování prvkového složení

3.5.1 Optická emisní spektrometrie (OES)

Metoda OES je založena na registrování fotonů vzniklých přechody valenčních elektronů z vyšších energetických stavů na nižší. Následně je možné změřit záření emitované atomy nebo ionty v excitovaném stavu. Emisní spektrum má čárový charakter – poloha čáry znázorňuje kvalitativní složení vzorku, intenzita čáry charakterizuje kvalitativní složení. Aby bylo možné zaznamenat atomové čárové spektrum, musí dojít například k termickému buzení těchto elektronů. Vzorek je tak zahříván na vysokou teplotu za pomoci plamene, elektrického zdroje nebo plazmového zdroje. (Broekaert, 2005)

3.5.2 Atomová absorpční spektrometrie (AAS)

AAS je jednou z nejrozšířenějších metod spektrální analýzy. Díky ní je možné stanovit chemické prvky periodické tabulky v širokém spektru materiálů. Metoda je založena na interakci mezi hmotou a zářením. Kdy jsou měřena atomová absorpční spektra, přičemž hlavním principem této metody je absorpce záření volnými atomy v plynném stavu. (Karlíček, 2001)

3.5.3 Jiskrový výboj

Jedná se o přerušovaný střídavý výboj s vysokým napětím a relativně nízkou průměrnou proudovou hustotou. V iniciační fázi je proud 100-1000 A a $T \approx 30000$ K, přičemž elektrony zůstávají studené. Z pracovní elektrody se při výboji odpaří nepatrné množství zkoumaného vzorku, který při výboji atomizuje a excituje. Tato metoda je stabilní a lze ji opakovat. Využívá se pro analýzu kovových vzorků. Před měřením je však nutné kvalitně upravit povrch vzorku. (Helán, 2005)

3.5.4 Metoda rentgenové fluorescenční spektrometrie (XRF)

Rentgenová spektrometrie XRF spadá pod metody atomové spektrometrie, založené na detekci elektromagnetického záření, které interaguje s atomy vzorku. Tím dochází k fluorescenci, kterou lze vysvětlit jako interakci mezi elektromagnetickým zářením a sub-valenčními atomy. (Klockenkamper, Bohlen, 2015) Atom může rentgenové záření buď pohlcovat (rentgenová absorpční spektrometrie), nebo jej při dostatečné excitaci může vysílat (rentgenová fluorescenční spektrometrie). (Praus, Plachá, 2008)

Základ pro rentgenovou fluorescenční analýzu vznikl roku 1913, kdy H. G. J. Moseley nahradil Mo anodu (Molybdenová anoda) několika dalšími kovovými deskami. (Klockenkamper, Bohlen, 2015) Vytvořil zákon, který spočívá ve vztahu mezi vlnovou délkou rentgenového záření a atomovým číslem Z prvku, které toto záření způsobuje a dále závislost mezi intenzitou tohoto záření a množstvím prvku ve vzorku. (Helán, 2005)

Za pomoci této analytické metody lze zjišťovat chemické složení téměř všech druhů materiálů v různých skupenstvích. Zkoumaný materiál může být v pevné, tekuté, práškové, filtrované nebo jiné podobě. Jedná se o metodu rychlou, přesnou a nedestruktivní. XRF může být také použita pro zjišťování tloušťky a složení povrchových vrstev a nátěrů. Využívá se v mnoha odvětvích průmyslu. (Brouwer, 2003)

V procesu rentgenové fluorescenční spektrometrie působí na vzorek energie ve formě rentgenového záření, které je vyzařováno rentgenovou lampou nebo energie radioaktivního záření z radionuklidů. (Helán, 2005)

Spektrální křivka nebo vrchol takového spektra je podobný bar-kódu a jsou charakteristické pro jednotlivé atomy, nebo-li jednotlivé prvky vzorku. Lze tak ze spektra přesně vyčíst prvkové složení zkoumaného vzorku. (Klockenkamper, Bohlen, 2015)

Rentgenová fluorescenční spektrometrie dle Klockenkampera a Bohlena (2015) je založena na ozařování vzorku primárním rentgenovým paprskem. Ozářením dojde k rozpočívání jednotlivých atomů, které vyzařují sekundární paprsky, které mohou být detekovány a zaznamenány ve spektru. (Stužka, 1994) Sekundární záření v sobě nese informaci o kvalitativním prvkovém složení vzorku, jedná se o vlnové délky nebo-li energie spektrální čáry. Zároveň nese informace o kvantitativním složení vzorku jako je četnost fotonů resp. intenzitu zjištěných spektrálních čar. (Helán, 2005)

Podíl protonů, které jsou znovu emitovány jako fluorescence z celkového počtu fotonů absorbovaných za jednotku času, se označuje jako kvantová účinnost Y . Za normálních podmínek a přítomnosti molekulárních plynů se pohybuje její hodnota od 10^{-3} až do 10^{-4} . Značí to, že z tisíce excitovaných atomů nanejvýš jeden atom vyzáří fluorescenční kvantum do celého prostoru 4π . (Stužka, 1994)

Fluorescenční záření se obvykle měří kolmo k excitačnímu paprsku. Pro atomovou fluorescenční spektrometrii lze uplatnit Lambertův-Beerův zákon.

Pro časové spektrum tento zákon zní:

$$I = I_0 \cdot \exp(-K \cdot n \cdot l)$$

Kde I_0 je intenzita zářivého toku před průchodem a po průchodu absorbující vrstvou tloušťky l , K je atomový absorpční koeficient pro danou čáru a n je počet volných atomů daného prvku v jednotce objemu (cm^{-3}). (Stužka 1994)

Vzhledem k dualismu fluorescenčního záření lze jej zpracovávat dvěma způsoby: (Helán, 2005)

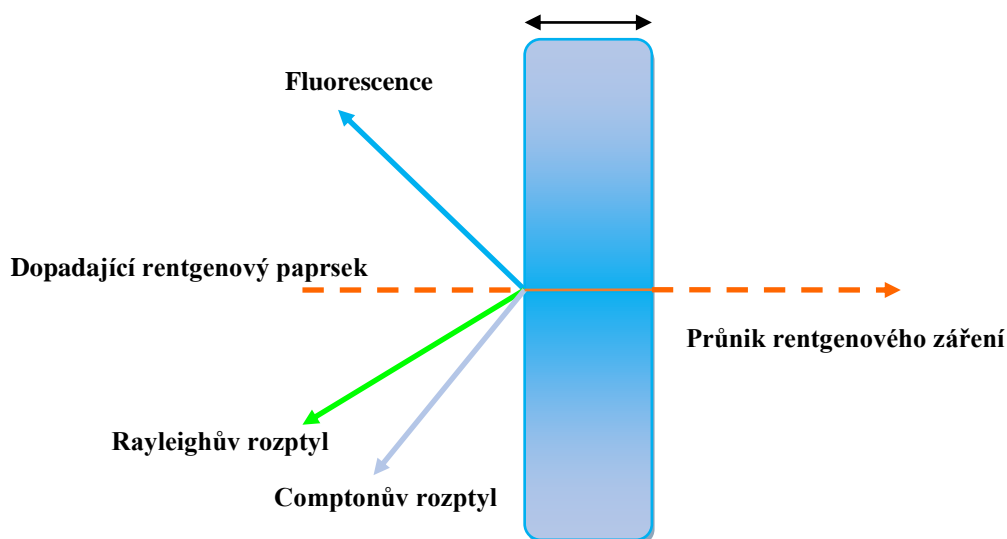
- *Energiově disperzní systém (EDXRF)*

U této metody je celé spektrum analyzováno najednou polovodičovým detektorem. Dochází ke změně energie fotonů na elektrické pulzy. Výška těchto pulzů je úměrná energii fotonu, počet pulzů je úměrný intenzitě záření.

- *Vlnově disperzní systém (WDXRF)*

Během procesu měření prvkového složení za využití atomové disperzní spektrometrie se ze sekundárního záření (fluorescenční) izolují jednotlivé vlnové délky difrakcí na krystalu. Takto je možné změřit intenzitu jednotlivých izolovaných čas (vlnových délek) sekvenčně nebo simultánně.

XRF patří mezi analýzy nedestruktivní. Vzorek je možné zkoumat opakovaně a lze ho opětovně využít k dalším operacím. Výhodou je snadná a rychlá příprava vzorku. XRF analýza je rychlá kvantitativní analýza poskytující přehled o široké škále prvků. Limity detekce u středně těžkých a těžkých prvků v mg/kg, u lehčích prvků jsou tyto limity výrazně nižší. Je potřeba využít matriční standardy při kalibraci z důvodů silné interference. (Helán, 2005)



Obrázek 10: Interakce RTG záření se hmotou, Zdroj: Vlastní dle Brouwer, 2003

Základem rentgenové fluorescenční spektrometrie je interakce mezi zářením a analyzovaným materiálem. Část vyzářených paprsků pronikne skrz materiálem, část se absorbuje a způsobuje fluorescenční záření a další část je rozptýlena do okolí. (Brouwer, 2003)

Jestliže dojde pouze ke změně směru beze změny vlnové délky fotonu, jedná se o koherentní (Rayleigh) rozptyl. V případě, že dojde ke změně energie i směru fotonu, hovoří se o nekoherentním rozptylu (Comptonův). (Brouwer, 2003)

3.5.4.1 Vznik RTG záření

Ke vzniku rentgenových paprsků dochází, když elektrony narážejí velkou rychlostí na překážku. Při nárazu se změjí jejich kinetická energie z větší části v teplo a nepatrná část v rentgenové záření. Přírozeným zdroje tohoto rentgenového záření jsou hvězdy, na Zemi pak úder blesku. Vzniká i jako nežádoucí produkt ve vakuových televizorech, při provozu elektronových mikroskopů nebo při sváření elektronovým paprskem. (Kraus, 1985)

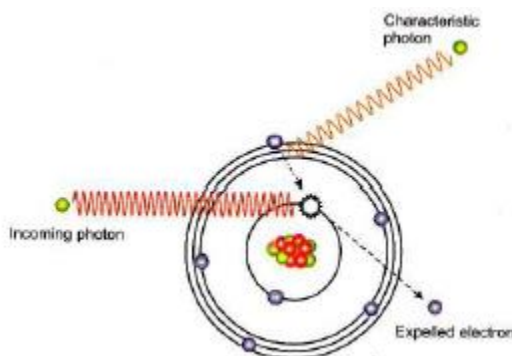
W. C. Röntgen zjistil, že záření vzniká dopadem katodových paprsků na anodu a následně se šíří přímočaře. Nedochozí k vychýlení elektrickým ani magnetickým pó-

lem. Při průniku RTG vzduchem se vzduch ionizuje. Dokáže pronikat i neprůhlednými materiály, které s rostoucí hustotou mají schopnost více pohlcovat tyto paprsky. (Kusala, 2004)

3.5.4.2 Vznik fluorescenčního záření

Fluorescence je jev, při kterém dochází k uvolnění charakteristického záření v průběhu deexcitace elektronů vybuzených do vyšších hladin. (Bower 2003)

Aby došlo k vybuzení elektronů je potřeba dodat dostatečnou excitační energii, např. fotonem rentgenova záření. Tato energie se liší, dle toho, mezi kterými hladinami elektron přeskakuje. Tato excitační energie absorbuje elektron z elektromagnetického záření. K absorpci dojde, jestliže je energie záření stejná jako energie excitační a jak elektron postupně klesá přes hladiny zpět na svou původní hladinu, vyzáří fotony při průchodu jednotlivými hladinami. (Bower, 2003)



Obrázek 11: Vznik charakteristického fluorescenčního záření, Zdroj: Bouwer, 2003

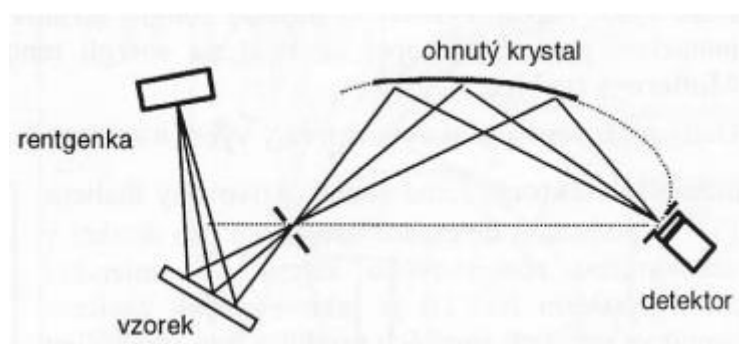
Fluorescence je charakterizována časem τ (doba vyhasínání), během kterého 63% excitovaných atomů či molekul přejde do své původní hladiny. U fluorescence se jedná o 10^{-8} sekundy. (Bower 2003)

Aby mohl foton rentgenova záření vyrazit elektron z některé hladiny atomu, musí mít vyšší energii, než je energie vazební tohoto atomu. Po vyražení elektronu z atomu, je dopadající záření absorbováno. (Bower, 2003)

3.6 Spektrometry

3.6.1 Rentgenový fluorescenční spektrometr

Zdrojem jeho záření je rentgenová lampa tzv. rentgenka. Primární rentgenové záření dopadá na vzorek a budí sekundární rentgenové fluorescenční záření. Záření následně vstupuje do monochromátoru. Během monochromatizaci rentgenového záření se využívá jevu zvaného difrakce. Tím rozumíme interferenci na krystalu rozptýleného záření. Sekundární záření je měřeno pomocí detektoru. (Klouda, 2003)



Obrázek 12: Schéma XRF spektrometru, Zdroj: Klouda, 2003

3.6.2 Vlnově disperzní rentgenové spektrometry (WDXRF)

Vlnově disperzní spektrometry mají velmi dobré spektrální rozlišení. K rozlišení záření využívá vlnové vlastnosti rentgenového záření. Záření emitované vzorkem prochází kolimátorem, který je tvořený dlouhými kovovými destičkami. Následně zasáhne krystal broušený tak, že jeho konstituční atomy tvoří roviny rovnoběžné s povrchem. (Klouda, 2003)

Klouda (2003) vyčleňuje:

- a) *Přenosné ED XRF spektrometry (Energiově disperzní)* využívají jako budící zdroj rentgenky. Při měření je důležité minimalizovat vzdálenost mezi vzorkem, rentgenkou a detektorem a dosahovat tak přijatelných vlnových délek i při nízkém výkonu rentgenky. Jejich výhodou je velikost a vysoká výkon-

nost. Tento přenosný spektrometr byl využit i pro analýzu prvkového složení procesorů zkoumaných v rámci této diplomové práce.

- b) *Laboratorní (stolní) ED XRF spektrometry* mají detektory s vysokým rozlišením, nejčastěji polovodičové detektory s peltierovým chlazením. Jejich vlastností je i velmi dobrá citlivost pro středně těžké prvky. Budícím zdrojem je zde rentgenka.

3.7 Příprava kovových vzorků k analýze

Základem každé analýzy je vzorek, jehož vlastnosti by měly reprezentovat často velmi objemný objekt (ingot, odlitek nebo dodávku feroslitiny o hmotnosti desítek tun). Při odběru vzorku je třeba brát v úvahu možnou nehomogenitu zkoumaného tělesa. Jestliže je příliš vysoká nebo ji nelze odhadnout, je vhodnější odebrat vzorek materiálu z více míst. (Helán, 2005)

V rentgenovém spektrometru lze analyzovat pouze malé množství vzorku, to znamená, že analytická informace je získána z objemu, který je součinem dost velké analytické plochy a často jen nepatrné hloubky. Z této plochy vzorku pochází 99,9 % získaného fluorescenčního záření, zbytek vzorku není spektrometrem, zaznamenám. Pokles získané intenzity na hloubce je exponenciální, záleží tedy pouze na povrchové vrstvičce a to i v případě, kdy je efektivní hloubka zdánlivě dostatečně velká. (Helán, 2005)

Na výtěžku naměřené intenzity se podílí způsob opracování, tvar a velikost vrypů v analytické ploše, jestliže bude drsnost řádově stejná či dokonce větší než efektivní tloušťka. (Helán, 2005)

Výsledky často bývají ovlivněny strukturou. U kovů dochází ke krystalizaci, tvorbě různých fází, v závislosti na charakteru slitiny a na rychlosti ochlazování. Může dojít i ke změně struktury stáním při pokojové teplotě, jestliže se jedná o nízkotající slitinu. (Helán, 2005)

Faktory, které jsou uvažovány při přípravě analytické plochy kovových vzorků dle Helána (2005):

- Drsnost - kritická pro dlouhovlnné záření
- Mikrostruktura
- Velikost zrna – vhodnější jsou jemnozrné materiály
- Uschování – vakuová sušárna, oxidace standardů
- Kontaminace – předchozími vzorky
- Přemazání měkkými fázemi – využití různých metod zpracování a přípravy (frézování, broušení)
- Leptání – zvýšení intenzity může způsobit korozi
- Vytrhávání vměstků – nevhodným postupem leštění může dojít k odstranění vměstku obsahujícího analyt
- Elektrochemické leštění – anodické rozpouštění povrchu nerezového materiálu

Při přípravě vzorků z kovů a slitin většinou postačí broušení těchto materiálů. Mimo to je však potřeba analyzovat různé vstupní suroviny ve formě housek, drtě, případně prášku. Poté dochází k další fázi, kdy se kompaktní kov může vrtat, rozpustit v kyselině, vysrážet analyt a následně je možné sraženinu lisovat do tablet s vhodným pojivem. (Bertin, 1975)

3.7.1 Metody přípravy kovových vzorků

3.7.1.1 Tavicí metody

Tavicí metody jsou vhodné pro analýzu silikátů, kovů nebo směsí. (Kuboň, 1983) Kovy se připravují přetavením zdrobnělého vzorku, případně s přídavkem ředícího kovu. Používá se k tomu tavicí zařízení s indukčním ohřevem, argonovou atmosférou a odstředivým odléváním. Každý materiál vyžaduje specifický postup tavení, který je třeba dodržet. (Kuboň, 1983)

Indukční ohřev je výhodný kvůli své vysoké účinnosti, rychlosti a samovolnému dobrému promíchávání taveniny. Induktor musí být co nejvýše vrchnímu, aby nedocházelo k zachytávání třísek. V případě tavení kovového prachu může být účinnost velmi nízká z důvodů příliš jemné struktury. (Helán, 2005)

Při tavení může docházet k těkání některých látek, částečné reakci s kelímkem, ve kterém se výzkum provádí, případně oxidují a přecházejí do strusky. Analýza látek, které mají tyto vlastnosti, je zatížena větší chybou nebo ji nelze provést. Lze k některým kovům přidávat jiné látky, aby se jejich nežádoucí činnost omezila. (Helán, 2005)

3.7.1.2 Mletí a lisování

Pokud provádíme analýzu křehkých materiálů, jako je FeSi, FESiCa, FeCrSi, a další, je lepší, když se tyto látky semelou na dostatečně malou zrnitost za pomoci vibračního mlýnu. Aby se látky dobře pomlely, je možné použít několik kapek povrchově aktivní látky jako je izopropylalkohol nebo směsi triethanolaminu s lihem. Nejprve se semele asi 50-100 g feroslitiny s přídavkem povrchově aktivní látky (5-10 min), a následně se prášek vysype. Dále se postupuje 2 způsoby: (Helán, 2005)

a) Lisování s pojivem

Semletá feroslitina se slisuje dohromady s pojivem do Al-mističek. Jako pojivo se použije KNO_3 nebo H_3BO_3 , celulóza nebo speciální vosky. Poměr pojiva a feroslitiny by měl být asi 1:1 – 1:5. Směs se promíchá a homogenizuje, pak se směs vysype a lisuje se tableta.

b) Lisování na podkladovou tabletu

Al-miska s pojivem se vloží do lisu. Pojiva je třeba použít tolik, aby po vylisování zaplnilo celou tabletu. Na povrch se nasype feroslitina tak, aby vrstva vzorku po vylisování byla asi 1 mm.

V obou případech se musí tableta analyzovat ihned po jejím slisování. (Helán, 2005)

4 METODIKA

Pro účely a zpracování diplomové práce na téma Analýza prvkového složení vybraného elektroodpadu, byla navázána spolupráce s firmou WEEE a.s. Výzkum se konal v provozovně v Osvětimanech. Tato společnost se zabývá službami v oblasti ochrany životního prostředí, zejména recyklací elektroodpadů a odpadních plastů a opětovným použitím elektrozařízení. Na základě dohody s firmou byly zvoleny jako testované OEEZ základní procesorové jednotky osobních počítačů. Analýza jejich prvkového složení slouží ke zjištění hmotnostního zastoupení vzácných kovů ve vzorcích.

Vzorky byly rozříděny dle výrobce, roku a čtvrtletí výroby a země původu. Následně každému vzorku bylo přiděleno evidenční číslo. Na základě toho mohla být vytvořena evidence zkoumaných vzorků. Před dalším postupem byl každý procesor zvážen na laboratorní váze VIBRA AJ 1200 CE s přesností měření 0,1 g. Byly také změřeny přesné rozměry každého vzorku posuvným digitálním měřítkem ELECTRONIC DIGITAL CALIPER 150 mm s přesností měření 0,03 mm.

Pro analýzu prvkového složení procesorů byla zvolena metoda rentgenové spektrometrie. K tomuto výzkumu byl použit ruční rentgenový spektrometr Niton XL3t GOLDD+.

Jedná se o rentgenovou lampu o výkonu 50 kV. S její pomocí je možné provádět měření i lehkých prvků (Mg, Al, Si, P, S). Detektor se umístí těsně k měřenému vzorku a tím dokáže zachytit více odraženého záření. Zpracovává až 500 tis. pulzů za sekundu. Má několik kalibračních módů: slitiny kovů, drahé kovy, elektronický odpad, plasty atd. V rámci analýzy vybraných jednotek byl použit mód drahé kovy, minerály a horniny.

Tato ruční rentgenová lampa funguje na principu vysílání gama záření, které následně dopadá na měřený vzorek. Vyražením elektronu z atomu dojde k uvolnění tzv. sekundárního záření, neboli fluorescenci, která dopadá na detektor v přístroji. Schopností detektoru je změřit energii dopadajících elektronů a spočítat jejich množství. Každý prvek disponuje typickou energií a množstvím naměřených impulsů. Analyzátor data rychle zpracuje a prostřednictvím tzv. fundamentálních parametrů vypočítá přesné koncentrace jednotlivých prvků ve vzorku. Data jsou následně ukládána do vnitřní paměti přístroje.

Rentgenová spektrometrie byla využita k analyzování hmotnostního zastoupení stříbra (Ag), zlata (Au) a palladia (Pd) ve zkoumaných vzorcích.

Tyto prvky jsou díky svým vlastnostem využívány ve velké míře právě v elektrotechnickém průmyslu. Všechny tyto kovy jsou dobře tepelně i elektricky vodivé, proto jsou dobrým materiálem pro výrobu elektroniky. U zlata se navíc využívá jeho nízkého přechodového odporu a odolnosti proti korozi.

Aby bylo možné změřit prvkové složení vybraného OEEZ, bylo třeba vzorky homogenizovat. Homogenizace bylo dosaženo pomocí střížného mlýnu RETSCH SM 1000. Vzorky se rozemlely na frakce o velikosti 0,2 mm. Tyto frakce se ukládaly do číslem označených igelitových sáčků. Příprava vzorků se uskutečnila v laboratoři Agromické fakulty Mendelovy univerzity v Brně.

Rozemletý vzorek se vsypal do nádoby na vzorky. Nádobka se skládá ze dvou částí, které se na sebe napojují závitem. Mezi ně se vkládá tenká fólie, aby mezi přístrojem a měřeným vzorkem bylo co nejméně cizího materiálu. Následně se nádobka vložila do stojanu, ve kterém byl uchycen rentgenový spektrometr.

Celkem se měřilo 50 vzorků. Po každém měření se musel vzorek vysypat, fólie se vyfoukala od zbylých částí vzorku, a nasypal se zpět do nádoby. Každý vzorek se tímto způsobem měřil přibližně 5 krát, dle odchylky naměřených hodnot, přičemž každé měření trvalo 70 sekund. Výsledky byly ukládány do vnitřní paměti přístroje a následně převáděny do počítače. Zde byly zpracovány softwarem Thermo Scientific NDT, který byl k přístroji přiložen. Výsledky poté byly převedeny do XLS souborů.

Ke zpracování dat byla použita popisná statistika, zejména pak základní charakteristiky polohy. Byl zvolen výpočet mediánu pro znázornění naměřených dat. Medián rozděljuje statistický soubor na dolní polovinu a horní polovinu hodnot x_i . Jedná se o robustní charakteristiku, která je jen nepatrně citlivá na extrémní hodnoty. Lze ho vypočítat za pomoci následujícího vzorce:

$$\tilde{x} = \begin{cases} x_{(\frac{n+1}{2})} & \text{pro lichá } n, \\ \frac{1}{2} [x_{(\frac{n}{2})} + x_{(\frac{n}{2}+1)}] & \text{pro sudá } n \end{cases}$$

K dispozici bylo od každého vzorku přibližně 5 hodnot pro daný prvek. Z těchto naměřených hodnot byl poté vypočítán medián pomocí funkce MEDIAN v softwarovém programu Microsoft Office – Excel. Data byla následně zpracována do grafů hmotnostního zastoupení vzácných kovů ve vzorcích.

Z naměřených hodnot byl také vypočítán aritmetický průměr v programu MS Office – Excel, za použití funkce PRŮMĚR. Lze jej vypočítat i dle následujícího vzorce:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Poslední použitou popisnou statistikou byla směrodatná odchylka naměřených hodnot. Lze ji vypočítat použitím vzorce:

$$s = \sqrt{s^2} = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n}}$$

Pro účely zpracování dat byla směrodatná odchylka vypočítána pomocí funkce SMODCH.VÝBĚR v softwaru MS Office – Excel.

Výstupem práce je zjištění hmotnostního zastoupení vzácných kovů, které se nacházejí v analyzovaných procesorech AMD a Intel. Cílem je zjistit, zda se množství vzácných kovů v procesorech mění v závislosti na roku výroby. V závěru bude firmě navrženo, které procesory jsou pro jejich účely nejvýhodnější.

5 VÝSLEDKY

V následující kapitole jsou uvedeny výsledky rentgenové spektrometrie. Analýza byla zaměřena na zjištění hmotnostního zastoupení stříbra, zlata a palladia v analyzovaných procesorech značky AMD a v procesorech Intel. V závěru kapitoly jsou základní procesorové jednotky těchto dvou značek vzájemně porovnávány z pohledu hmotnostního zastoupení jednotlivých vzácných kovů v závislosti na letech výroby.

5.1 Charakteristika procesorů značky AMD

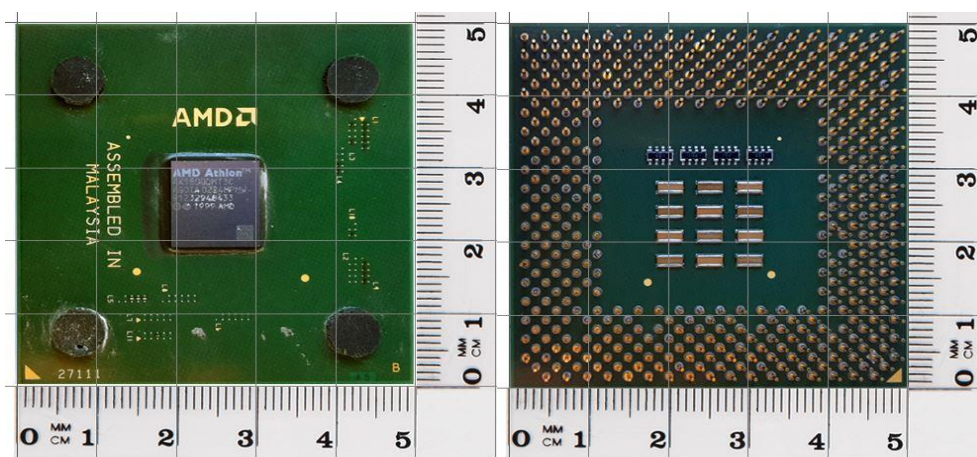
Celkem bylo analyzováno 14 procesorů značky AMD s rokem výroby 2002 – 2009. Jednalo se o typy Athlon, Duron, Sempron, Turion. Zkoumané procesory značky AMD byly vyrobeny převážně v Malajsii, jeden vzorek na Filipínách jak uvádí tabulka č. 8.

Tabulka 8: Evidence zkoumaných procesorů AMD a jejich parametry, Zdroj: Vlastní

Název	Rok	Pololetí	Týden	Hmotnost [g]	Rozměr [cm]	Země výroby	Ev. číslo
ATHLON	2002	1	05	10,78	5,0 x 5,0	Malajsie	150000
		2	29	10,80	5,0 x 5,0	Malajsie	150001
	2003	1	08	10,41	5,0 x 5,0	Malajsie	150002
		2	39	10,79	5,0 x 5,0	Malajsie	150003
	2004	1	09	10,58	5,0 x 5,0	Malajsie	150004
		2	40	10,55	5,0 x 5,0	Malajsie	150005
DURON	2001	2	36	17,50	5,0 x 5,0	Malajsie	150006
	2003	2	34	10,44	5,0 x 5,0	Malajsie	150007
	2004	1	22	10,44	5,0 x 5,0	Malajsie	150008
SEMPRON	2004	1	22	10,58	5,0 x 5,0	Malajsie	150009
		2	41	11,12	5,0 x 5,0	Malajsie	150010
	2005	1	04	10,96	5,0 x 5,0	Malajsie	150011
			21	10,53	5,0 x 5,0	Filipíny	150012
TURION	2008	1	13	5,82	3,5 x 3,5	Malajsie	150013
	2009	2	31	6,32	3,5x 3,5	Malajsie	150014

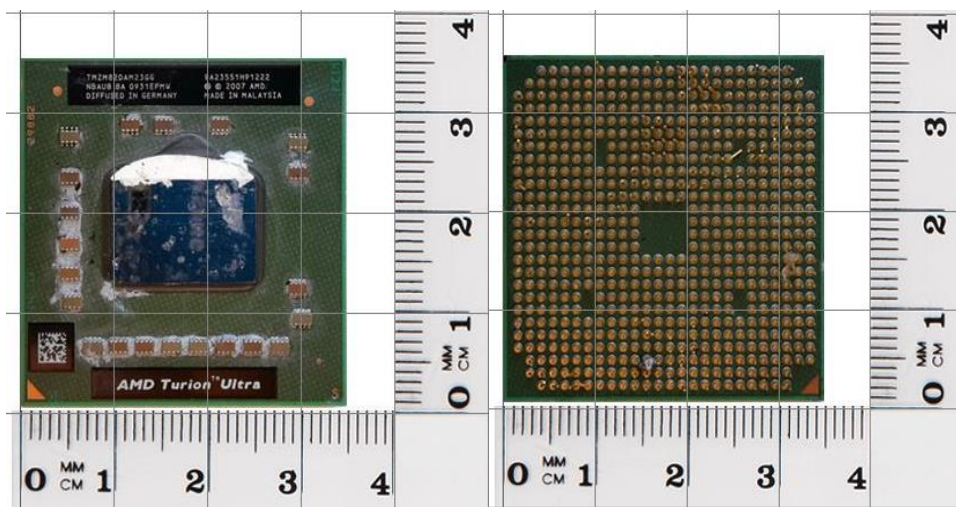
Analyzované procesory značky AMD byly o rozměrech 5,0 x 5,0 cm. Pouze největší procesory s označením Turion vyrobené v letech 2008 – 2009 byly menších rozměrů 3,5 x 3,5 cm.

Hmotnost procesorů značky AMD o rozměrech 5,0 x 5,0 cm se pohybovala v rozmezí 10,41 – 11,12 g. Pouze jeden vzorek, procesor AMD Duron vyrobený v roce 2001, vážil 17,50 g. Vyšší hmotnost je nejspíš zapříčiněna tím, že v tomto procesoru byla zjištěna i přítomnost stříbra na rozdíl od ostatních vzorků, u kterých nebylo stříbro detekováno. Hmotnost zkoumaných vzorků o rozměru 3,5 x 3,5 cm téhož výrobce byla 5,82 – 6,32 g.



Obrázek 13: AMD Athlon 2002/01 (ev. č. 150000), Zdroj: Vlastní

Pro znázornění analyzovaných procesorů značky AMD slouží procesory na obrázcích č. 13 a 14. Na obrázku č. 13 lze vidět procesor značky AMD Athlon z druhé poloviny roku 2002 o rozměrech 5,0 x 5,0 cm z přední a zadní strany s výstupy. Na přední straně procesoru je uveden typ procesoru, rok výroby a místo výroby.



Obrázek 14: AMD Turion - 2009/02 (ev. č. 150014), Zdroj: Vlastní

Obrázek č. 14 znázorňuje procesor AMD Turion roku výroby 2009, druhé pololetí. Rozměry procesoru jsou 3,5 x 3,5 cm. Z obou stran se tento procesor liší od předchozího typu. Na přední straně jsou umístěny podobné vývody, které jsou umístěny u předchozího typu uprostřed zadní strany. Na zadní straně procesoru Turion je více výstupů, které jsou rozmístěny nejen po obvodu procesoru.

5.2 Výsledky analýzy procesorů AMD

V následující tabulce č. 9 jsou zaznamenány výsledky analýzy procesorů AMD. V prvním sloupci jsou uvedena evidenční čísla, která byla přiřazena k jednotlivým procesorům uvedených v tabulce č. 8. Dále je uveden medián, který byl použitý pro interpretaci zjištěných dat a vytvoření grafů, které jsou popsány v následujících třech kapitolách. V dalších sloupečích je zaznamenán aritmetický průměr těchto naměřených hodnot a z něj vypočítaná směrodatná odchylka.

Tabulka 9: Evidence zkoumaných procesorů AMD a vypočtené hodnoty, Zdroj: Vlastní

Evidenční číslo vzorku	Pb [%]			Au [%]			Ag [%]		
	median	arit. průměr	σ	median	arit. průměr	σ	median	arit. průměr	σ
150000	0,0055	0,0063	0,0073	0,1685	0,1978	0,0696	0,0000	0,0000	0,0000
150001	0,0025	0,0027	0,0018	0,1640	0,1658	0,0340	0,0000	0,0000	0,0000
150002	0,0150	0,0212	0,0129	0,1515	0,1483	0,0307	0,0000	0,0000	0,0000

150003	0,0000	0,0000	0,0000	0,1890	0,1896	0,0342	0,0000	0,0000	0,0000
150004	0,0000	0,0008	0,0011	0,1630	0,1630	0,0272	0,0000	0,0000	0,0000
150005	0,0000	0,0008	0,0011	0,1880	0,1994	0,0485	0,0000	0,0000	0,0000
150006	0,0040	0,0046	0,0023	0,1900	0,3096	0,2193	0,1460	0,1113	0,0792
150007	0,0020	0,0013	0,0010	0,2890	0,2935	0,0626	0,0000	0,0000	0,0000
150008	0,0030	0,0030	0,0010	0,2420	0,2908	0,1135	0,0000	0,0000	0,0000
150009	0,0020	0,0012	0,0009	0,2080	0,2058	0,0100	0,0000	0,0000	0,0000
150010	0,0000	0,0004	0,0009	0,1580	0,1582	0,0207	0,0000	0,0000	0,0000
150011	0,0000	0,0004	0,0009	0,1820	0,1990	0,0329	0,0000	0,0000	0,0000
150012	0,0020	0,0014	0,0013	0,2650	0,2530	0,0719	0,0000	0,0000	0,0000
150013	0,0000	0,0008	0,0011	0,1840	0,2048	0,0390	0,0000	0,0000	0,0000
150014	0,0010	0,0010	0,0011	0,1865	0,1877	0,0750	0,0000	0,0000	0,0000

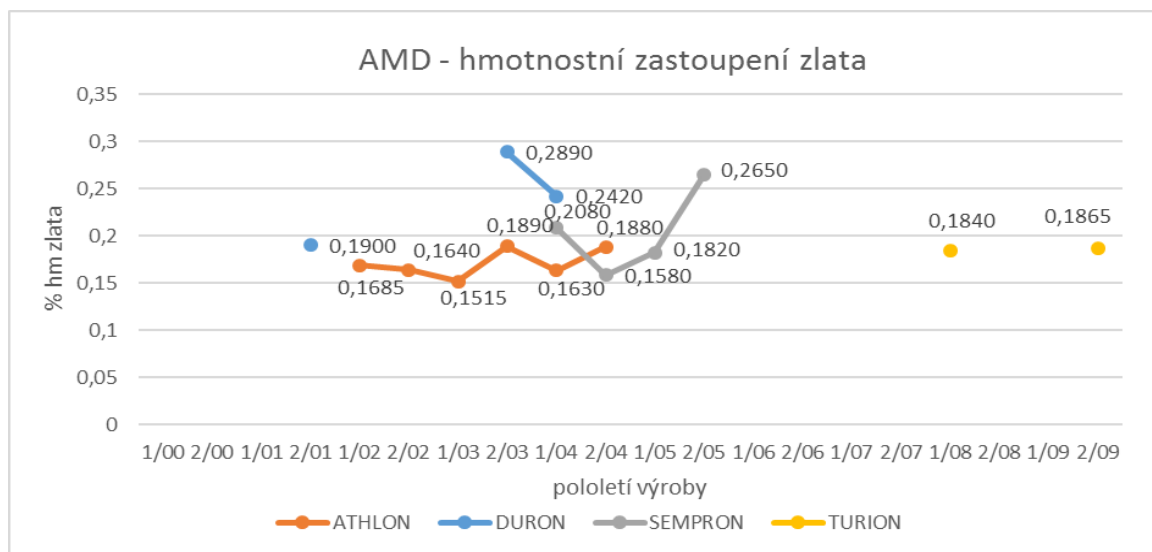
5.2.1 Hmotnostní zastoupení zlata v procesorech AMD

Byly zkoumány procesory s označením Athlon v letech výroby 2002 – 2004. Jak lze vidět v grafu (obrázek č. 15), bylo zjištěno, že tyto procesory obsahovaly nejvíce zlata ve druhém pololetí roku 2003 a to 0,1890 % hm. Nicméně se jeho množství za celé sledované období příliš neměnilo.

Dalším zkoumaným typem základních procesorových jednotek byl AMD Duron. Množství zlata nacházející se v tomto procesoru bylo velmi proměnlivé. K dispozici byly pouze 3 procesory s tímto označením. V roce 2001 obsahoval pouhé 0,1900 % hm a v následujících letech 2003 a 2004 toto množství vzrostlo.

Procesory AMD Sempron byly pro analýzu k dispozici z let výroby 2004 – 2005. Množství zlata v nich obsažené bylo nejnižší ve druhé polovině roku 2004, zaznamenáno bylo pouhých 0,1580 % hm z původních 0,2080 na začátku tohoto roku. Následně se v roce 2005 obsahované množství zlata v procesorech Sempron zvýšilo, až ve druhé polovině roku 2005 procesory obsahovaly o více jak 0,1000 % hm zlata více oproti předešlému roku.

Posledním zkoumaným procesorem byl Turion vyrobený v roce 2008 – 2009. Tyto jediné procesory mají rozměr pouhých 3,5 x 3,5 cm. V obou sledovaných letech se % hm zlata v nich obsažené příliš neměnilo. Obsahovaly více jak 0,1800 % hm sledovaného prvku.



Obrázek 15: Hmotnostní zastoupení zlata v jednotlivých procesorech značky AMD, Zdroj: Vlastní

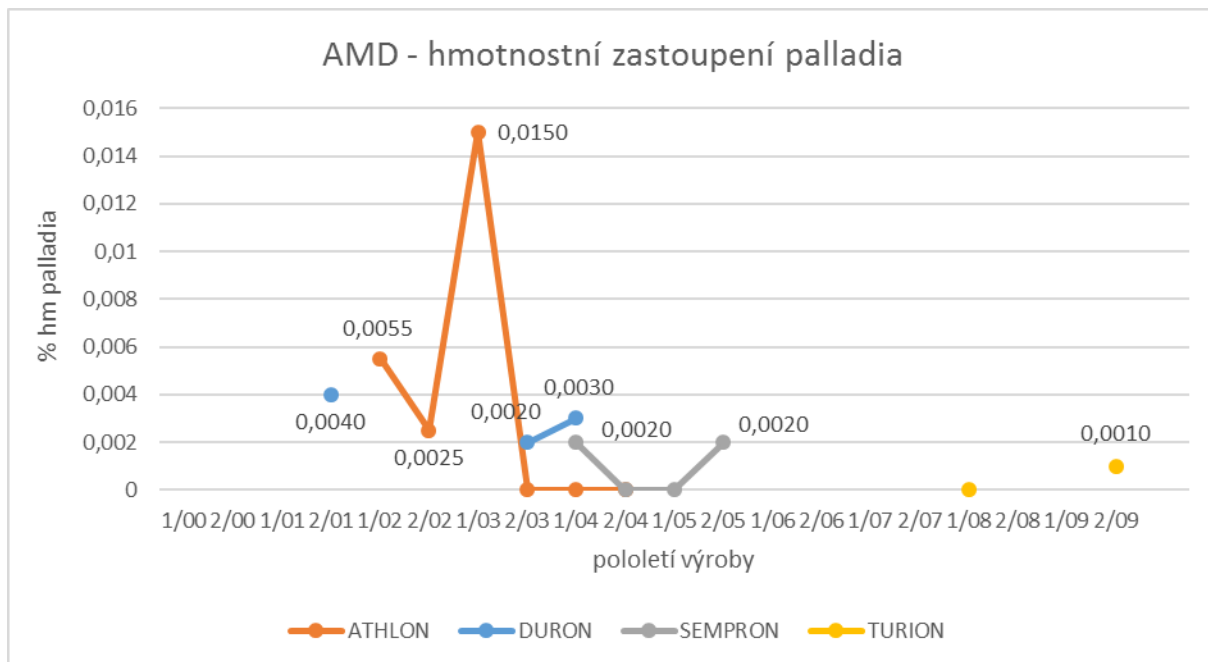
5.2.2 Hmotnostní zastoupení palladia v procesorech AMD

Palladium se ve sledovaných vzorcích nachází jen ve velmi malém množství. Ze sledovaných vzorků jak uvádí graf na obrázku č. 16, bylo nejvíce zlata analyzováno v procesorech AMD Athlon z první poloviny roku 2003, a to 0,0150 % hm. V procesorech z druhé poloviny téhož roku a dalších letech již nebyl obsah palladia zjištěn.

AMD Duron naopak obsahoval palladium ve všech třech zkoumaných vzorcích.

U procesorů označených Sempron se palladium dle analýzy vyskytovalo pouze ve vzorcích z první poloviny roku 2004 a druhé poloviny roku 2005, pouhých 0,0020 % hm zjišťovaného prvku.

Základní procesorové jednotky AMD Turion měly 0,0010 % hm palladia v roce 2009. V procesorech z roku 2008 nebyl prokázán obsah palladia.



Obrázek 16: Hmotnostní zastoupení palladia v jednotlivých procesorech značky AMD, Zdroj: Vlastní

5.2.3 Hmotnostní zastoupení stříbra v procesorech AMD

Stříbro se běžně využívá jako součást různých slitin pro použití v elektronickém průmyslu. Přestože se stříbro vyznačuje nejlepší elektrickou a tepelnou vodivostí ze všech známých kovů, nebyla jeho přítomnost ve zkoumaných vzorcích zjištěna. Ze všech analyzovaných procesorů bylo stříbro nalezeno pouze v jednom procesoru. Jedná se o procesor značky AMD s označením Duron. Tento vzorek se od ostatních odlišuje také podstatně vyšší hmotností. Hmotnost vzorku je o 6,80 g vyšší.

5.3 Charakteristika procesorů značky Intel

Dalšími zkoumanými procesory byly základní procesorové jednotky značky Intel. Zkoumalo se 36 procesorů s rokem výroby 2000 – 2008. Tyto procesory byly s označením Intel Celeron, Pentium III 01, Pentium III 00, Intel 02, Intel 06, Intel 04. Většina vzorků byla vyrobena v Malajsii, další pak na Filipínách nebo Kostarice.

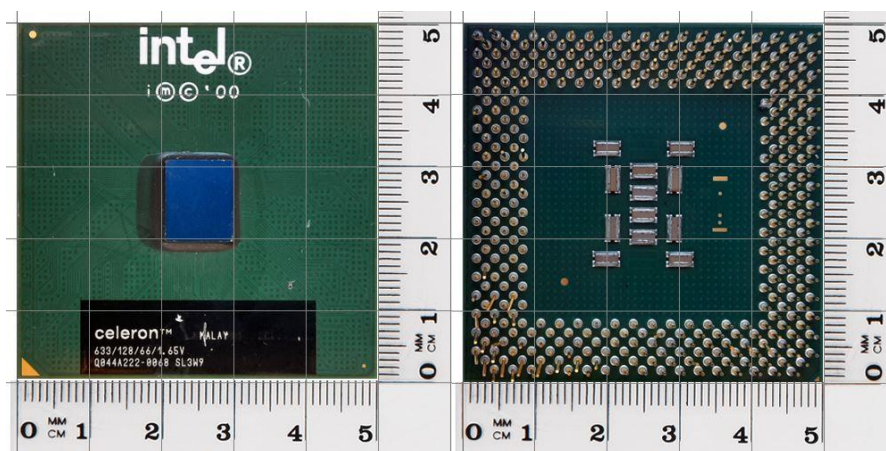
V tabulce č 10. je zaznamenána evidence zkoumaných procesorů značky Intel a jejich parametry.

Tabulka 10: Seznam zkoumaných procesorů Intel a jejich parametry, Zdroj: Vlastní

název	rok	pololetí	týden	hmotnost	rozměr	země výroby	ev. číslo
CELERON	2000	1	14	8,92	5,0 x 5,0	Malajsie	150015
		2	44	9,04	5,0 x 5,0	Malajsie	150016
			44	8,85	5,0 x 5,0	Kostarika	150017
	2001	1	20	8,91	5,0 x 5,0	Malajsie	150018
		2	43	8,92	5,0 x 5,0	Malajsie	150019
	2002	1	6	9,09	5,0 x 5,0	Malajsie	150020
		2	33	9,07	5,0 x 5,0	Malajsie	150021
	2003	1	17	9,03	5,0 x 5,0	Malajsie	150022
		2	42	9,00	5,0 x 5,0	Malajsie	150023
	2004	1	9	9,09	5,0 x 5,0	Malajsie	150024
		2	26	9,15	5,0 x 5,0	Malajsie	150025
	2005	1	11	9,11	5,0 x 5,0	Malajsie	150026
		2	31	9,10	5,0 x 5,0	Malajsie	150027
	2006	1	7	9,10	5,0 x 5,0	Malajsie	150028
		2	41	9,10	5,0 x 5,0	Malajsie	150029
	2007	1	15	9,25	5,0 x 5,0	Malajsie	150030
		2	38	9,27	5,0 x 5,0	Malajsie	150031
	2008	1	14	9,08	5,0 x 5,0	Malajsie	150032
2		38	9,00	5,0 x 5,0	Malajsie	150033	
PENTIUM III 01	2001	1	19	9,08	5,0 x 5,0	Kostarika	150034
		2	33	9,30	5,0 x 5,0	Malajsie	150035
		2	34	9,10	5,0 x 5,0	Kostarika	150036
	2002	1	2	9,30	5,0 x 5,0	Malajsie	150037
PENTIUM III 00	2000	1	22	9,20	5,0 x 5,0	Malajsie	150038
		2	33	9,20	5,0 x 5,0	Filipíny	150039
		2	43	9,00	5,0 x 5,0	Kostarika	150040
	2001	1	16	9,20	5,0 x 5,0	Malajsie	150041
CELERON	2001	2	39	9,10	5,0 x 5,0	Malajsie	150042
	2002	1	1	9,00	5,0 x 5,0	Malajsie	150043
INTEL 02	2002	2	39	4,90	3,5 x 3,5	Malajsie	150044
	2003	1	14	4,90	3,5 x 3,5	Kostarika	150045
		1	25	4,60	3,5 x 3,5	Filipíny	150046
	2004	2	27	4,80	3,5 x 3,5	Filipíny	150047
INTEL 06	2007	2	38	6,30	3,5 x 3,5	Filipíny	150048
	2008	1	6	6,10	3,5 x 3,5	Malajsie	150049
INTEL 04	2008	1	21	4,80	3,5 x 3,5	Filipíny	150050

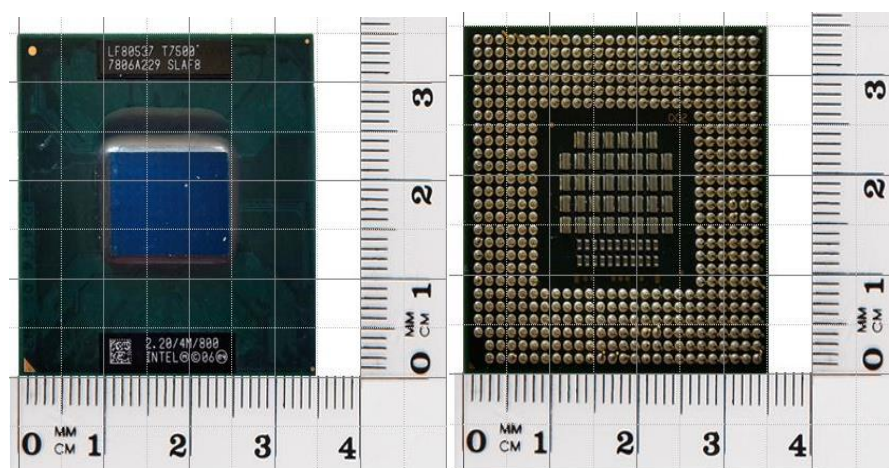
Většina procesorů byla o rozměrech 5,0 x 5,0 cm. Tři modely procesorů měly menší rozměry 3,5 x 3,5 cm. Týká se to procesorů označených Intel 02, Intel, 04 a Intel 06.

Hmotnost procesorů Intel o rozměru 5,0 x 5,0 cm byla 8,91 – 9,27 g. Rozměrově menší procesory s označením Intel 02, 04, 06 vážily v rozmezí 4,60 – 6,30 g. Přičemž hmotnost základní procesorové jednotky označené Intel 06 téhož rozměru byla o téměř 1,50 g více než Intel 02 a 04.



Obrázek 17: Intel Celeron 2000/02 (ev.č. 150016), Zdroj: Vlastní

Na obrázku č. 17 se nachází procesor Intel Celeron z druhé poloviny roku 2000. Procesor je zobrazen ze přední i ze zadní strany. Lze tak srovnat vizuální rozdíly procesorů AMD a procesorů Intel. Stejně tak jako u předchozích procesorů AMD je na přední straně uveden typ, rok a místo výroby. Na zadní straně lze pozorovat výstupy umístěné jak po obvodu procesoru, tak v jeho středu. Tento procesor je o rozměru 5,0 x 5,0 cm.



Obrázek 18: Intel 06 - 2008/01 (ev.č. 150049), Zdroj: Vlastní

Na následujícím obrázku č. 18 se nachází procesor Intel 06 roku výroby 2008, první pololetí. Procesor je o rozměrech 3,5 x 3,5 cm. Na první pohled si lze všimnout rozdílů ve vzhledu oproti předešlému typu procesoru Intel, ale i předchozích procesorů AMD. Převážně pak rozdílů v počtu a podobě vývodů na zadní straně a jejich rozmístění.

5.4 Výsledky analýzy procesorů Intel

Tato kapitola obsahuje výsledky analýzy procesorů AMD, které jsou uvedeny i v následující tabulce č. 11. V prvním sloupečku jsou evidenční čísla přiřazená k jednotlivým procesorům uvedených v předchozí tabulce č. 10. Je zde uveden medián, který byl vypočítán z naměřených hodnot použitý pro interpretaci dat a vytvoření grafů, které jsou popsány v následujících kapitolách. Dále je uveden aritmetický průměr naměřených hodnot a jejich směrodatná odchylka.

Tabulka 11: Evidence zkoumaných procesorů Intel a vypočtené hodnoty, Zdroj: Vlastní

Evidenční číslo vzorku	Pb [%]			Au [%]			Ag [%]		
	median	arit. průměr	σ	median	arit. průměr	σ	median	arit. průměr	σ
150015	0,0020	0,0021	0,0035	0,2530	0,2946	0,1061	0,0000	0,0000	0,0000
150016	0,0020	0,0020	0,0011	0,2195	0,2305	0,0772	0,0000	0,0000	0,0000
150017	0,0010	0,0012	0,0013	0,2070	0,1975	0,0257	0,0000	0,0000	0,0000
150018	0,0035	0,0033	0,0008	0,2295	0,2445	0,0553	0,0000	0,0000	0,0000
150019	0,0020	0,0017	0,0014	0,2445	0,2492	0,0360	0,0000	0,0000	0,0000

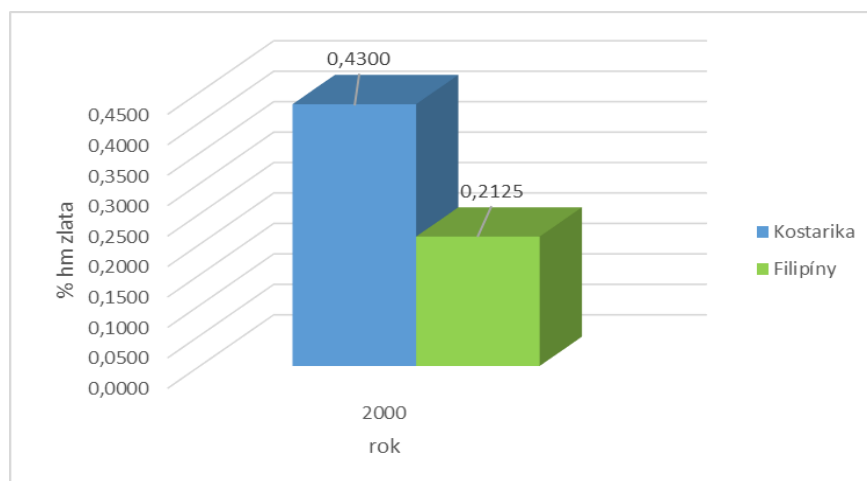
150020	0,0000	0,0000	0,0000	0,2760	0,2957	0,0690	0,0000	0,0000	0,0000
150021	0,0000	0,0000	0,0000	0,3135	0,3345	0,0687	0,0000	0,0000	0,0000
150022	0,0000	0,0000	0,0000	0,2605	0,2842	0,0690	0,0000	0,0000	0,0000
150023	0,0000	0,0000	0,0000	0,3030	0,3102	0,0647	0,0000	0,0000	0,0000
150024	0,0000	0,0000	0,0000	0,2155	0,2170	0,0156	0,0000	0,0000	0,0000
150025	0,0000	0,0000	0,0000	0,2470	0,2427	0,0363	0,0000	0,0000	0,0000
150026	0,0020	0,0017	0,0015	0,2260	0,2510	0,0780	0,0000	0,0000	0,0000
150027	0,0000	0,0000	0,0000	0,2360	0,2647	0,0638	0,0000	0,0000	0,0000
150028	0,0000	0,0008	0,0013	0,2810	0,2668	0,0537	0,0000	0,0000	0,0000
150029	0,0000	0,0000	0,0000	0,2540	0,2678	0,0582	0,0000	0,0000	0,0000
150030	0,0000	0,0000	0,0000	0,2745	0,2755	0,0331	0,0000	0,0000	0,0000
150031	0,0000	0,0000	0,0000	0,2615	0,2610	0,0231	0,0000	0,0000	0,0000
150032	0,0000	0,0000	0,0000	0,2775	0,2950	0,0757	0,0000	0,0000	0,0000
150033	0,0000	0,0003	0,0008	0,2700	0,2773	0,0566	0,0000	0,0000	0,0000
150034	0,0000	0,0003	0,0008	0,2260	0,2240	0,0374	0,0000	0,0000	0,0000
150035	0,0000	0,0000	0,0000	0,2750	0,3085	0,1515	0,0000	0,0000	0,0000
150036	0,0000	0,0007	0,0010	0,1975	0,2047	0,0194	0,0000	0,0000	0,0000
150037	0,0000	0,0000	0,0000	0,3160	0,3372	0,1187	0,0000	0,0000	0,0000
150038	0,0000	0,0003	0,0008	0,3100	0,3068	0,0464	0,0000	0,0000	0,0000
150039	0,0000	0,0000	0,0000	0,4300	0,4140	0,0934	0,0000	0,0000	0,0000
150040	0,0000	0,0000	0,0000	0,2125	0,2267	0,0609	0,0000	0,0000	0,0000
150041	0,0040	0,0037	0,0010	0,2965	0,2942	0,0593	0,0000	0,0000	0,0000
150042	0,0000	0,0000	0,0000	0,2800	0,2932	0,0659	0,0000	0,0000	0,0000
150043	0,0000	0,0000	0,0000	0,2210	0,2478	0,0828	0,0000	0,0000	0,0000
150044	0,0000	0,0010	0,0013	0,3660	0,3717	0,1670	0,0000	0,0000	0,0000
150045	0,0000	0,0003	0,0008	0,3245	0,3502	0,1176	0,0000	0,0000	0,0000
150046	0,0025	0,0023	0,0014	0,3425	0,3220	0,0993	0,0000	0,0000	0,0000
150047	0,0020	0,0018	0,0018	0,4900	0,4700	0,0834	0,0000	0,0000	0,0000
150048	0,0030	0,0025	0,0014	0,3985	0,3910	0,1599	0,0000	0,0000	0,0000
150049	0,0000	0,0010	0,0015	0,3475	0,3273	0,0938	0,0000	0,0000	0,0000
150050	0,0000	0,0012	0,0018	0,5810	0,5498	0,1433	0,0000	0,0000	0,0000

5.4.1 Hmotnostní zastoupení zlata v procesorech Intel

Nejvíce získaných vzorků bylo typu Intel Celeron. Obsažené množství zlata v těchto procesorech se během vývoje od roku 2000 – 2008 příliš neměnilo. Vyšší podíl obsahu zlata byl měřením zaznamenán ve vzorcích z let 2002 a 2003, kdy vzorky obsahovaly více jak 0,3000 % hm zlata. V ostatních letech výroby bylo do procesorů přidáváno průměrně 0,2600 % hm připadající na tento prvek.

Dalším analyzovaným typem byl Pentium III 01. Vzhledem k malému množství zkoumaných vzorků, se nepřikládala větší váha na rozdíly mezi zeměmi výroby těchto vzorků. U tohoto typu procesorů byly k dispozici pouze čtyři procesorové jednotky. Jedna byla vyrobena v roce 2001 v Kostarice, další v Malajsii. Jak lze vidět v grafu, obsah zlata ve druhé polovině roku 2001 klesl z 0,2260 % hm na 0,1975 % hm tohoto prvku. V dalším roce byl zaznamenán prudký nárůst obsahovaného množství zlata, více jak 0,3000 % hm daného prvku.

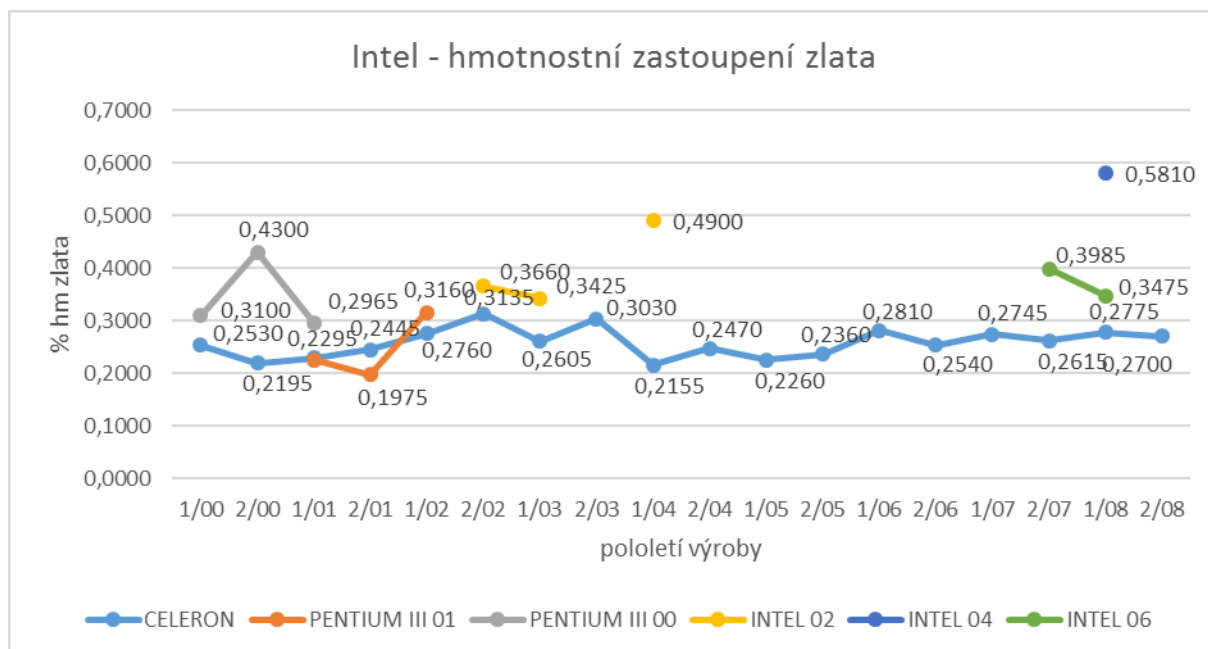
Vzorky procesorů typu Pentium III 00 byly k dispozici také ve velmi malém počtu. Navíc každý byl vyrobený v jiné zemi. Zajímavé však je, že procesor téhož data výroby vyrobený v Kostarice obsahoval o více jak 0,2000 % hm více zlata než procesor vyrobený na Filipínách.



Obrázek 19: Srovnání hmotnostního zastoupení zlata v procesorech Pentium III 00 vyrobených ve 2. pololetí roku 2000 v Kostarice a na Filipínách, Zdroj: Vlastní

Zkoumané vzorky typu Intel 02 byly z roku výroby 2002 – 2004. Vzorky z roku výroby 2002 byly vyrobeny v Malajsii, z roku 2003 a 2004 v Kostarice. Množství zlata se však nijak viditelně nemění. Průměrně se v těchto typech nachází 0,3500 % hm zlata. Až ve vzorku z roku 2004 bylo analyzováno téměř 0,5000 % hm zlata.

Nejvíce zlata bylo obsaženo v procesoru Intel 04 vyrobeném v roce 2008. Obsahoval 0,5810 % hm zlata.



Obrázek 20: Hmotnostní zastoupení zlata v jednotlivých procesorech značky Intel, Zdroj: Vlastní

Poslední zkoumaný vzorek byl Intel typu 06. Analyzovaný vzorek byl vyrobený v Kostarice roku 2007 a druhý z roku 2008 z Malajsie. Procesor vyrobený v Kostarice obsahoval o 0,0400 % hm více zlata než vzorek vyrobený v Malajsii. Kvůli malému množství vzorků však nelze určit, zda je to z důvodu roku výroby či země, kde se procesory vyráběly.

5.4.2 Hmotnostní zastoupení palladia v procesorech Intel

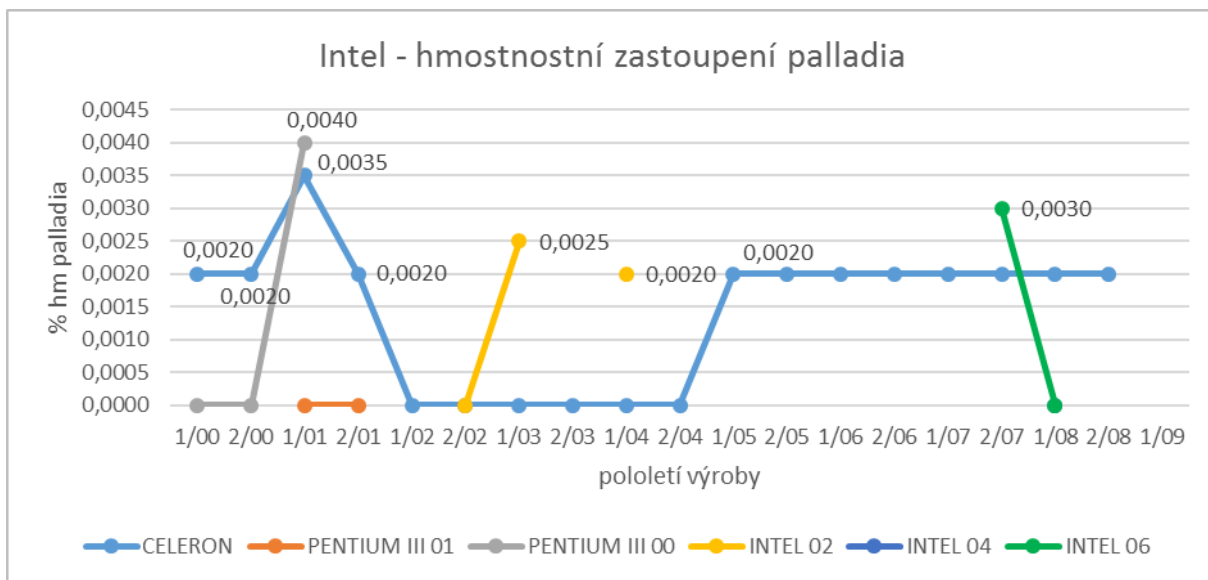
Procesory značky Intel stejně tak jako AMD, obsahovaly pouze malé množství palladia. Tento kov byl měřením zjištěn především na typech Celeron. V základních procesorových jednotkách vyrobených v roce 2000 a 2002 bylo obsaženo 0,0020 % hm palladia. Avšak procesor z první poloviny roku 2001 obsahoval vyšší hmotnostní zastoupení palladia, bylo naměřeno 0,0350 % hm tohoto prvku. Poté od druhé poloviny roku 2002 až do konce roku 2004 se palladium při výrobě nejspíš do procesorů Intel

Celeron nepřidávalo, jeho výskyt nebyl zjištěn. Až v procesorech z roku výroby 2005 až 2008 bylo opět naměřeno 0,0020 % hm daného prvku.

V porovnání Pentium III 01 a Pentium III 00 bylo zjištěno, že ani jeden z analyzovaných procesorů Pentium III 01 neobsahuje stopy palladia. Za to procesor Pentium III 00 vyrobený v roce 2001 obsahoval nejvíce palladia ze všech procesorů Intel a to 0,0040 % hm.

Dále byly stopy palladia objeveny i v procesoru Intel 02 roku výroby 2003 – 2004. Oba procesory tohoto typu byly vyrobeny v Kostarice. Procesory z jiných zemí palladium neobsahovaly.

V posledním zkoumaném typu s označením Intel 06 se palladium objevilo pouze u jednoho vzorku, který byl vyrobený v roce 2007 v Kostarice. Další zkoumaný procesor byl vyrobený v Malajsii a palladium neobsahoval. Stejně, jako u předchozího případu, nelze na základě daného počtu výsledků jasně určit, zda je množství palladia v procesorech ovlivněno zemí původu nebo rozlišnými roky výroby.



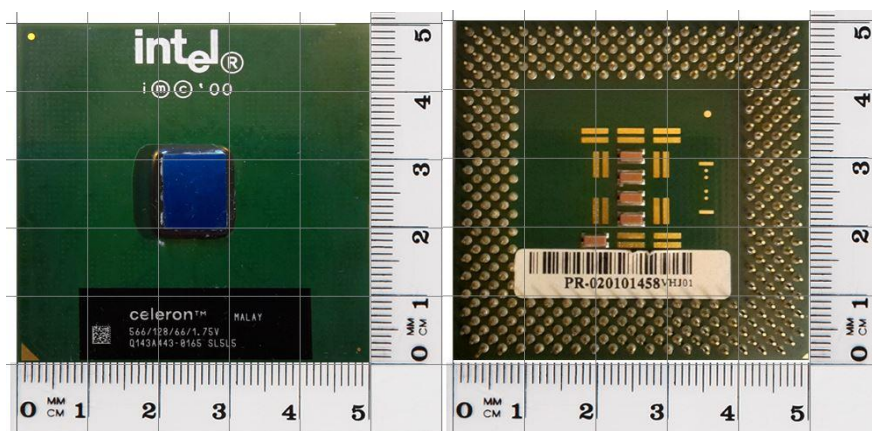
Obrázek 21: Hmotnostní zastoupení palladia v jednotlivých procesorech značky Intel, Zdroj: Vlastní

5.4.3 Srovnání dvou typů procesorů Intel Celeron

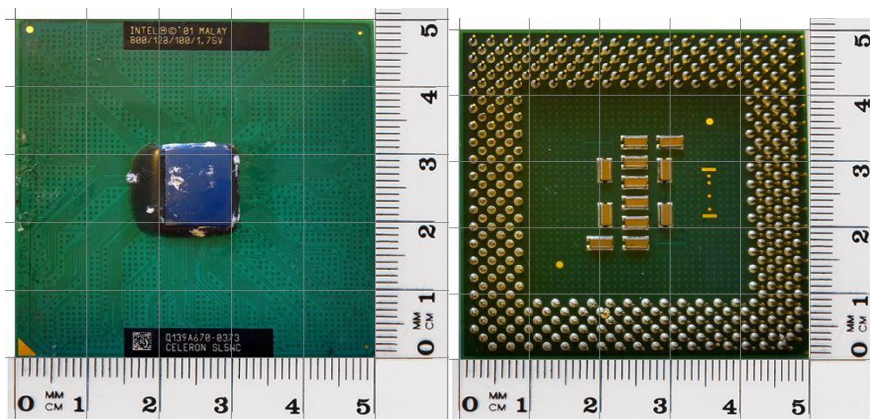
Procesory Intel Celeron (obr. č. 22, 23) byly zřejmě vyráběny ve dvou podobách. Během třídění procesorů bylo zjištěno, že se dva procesory Intel Celeron vzhledem odlišují od ostatních procesorů stejného označení Intel Celeron. Získané vzorky jednoho typu byly z roku 2000 až 2008. U druhého typu byly získány pouze procesory z let výroby 2001 a 2002. Proto pro porovnání těchto dvou typů bylo zvoleno období výroby procesorů od 2. pololetí roku 2001 až 1. pololetí roku 2002.

Tabulka 12: Srovnání dvou typů Intel Celeron rok výroby 02/2001 - 01/2002, Zdroj: Vlastní

Typ	Rok výroby	Pololetí výroby	Týden výroby	Země výroby	Hmotnost	Rozměry	Sledované vzácné kovy v % hm	
							Au	Pb
INTEL Celeron 1. typ	2001	2	43	Malajsie	8,92	5,0x5,0	0,2445	0,0020
	2002	1	6	Malajsie	9,09	5,0x5,0	0,2760	0,0000
INTEL Celeron 2. typ	2001	2	39	Malajsie	9,10	5,0x5,0	0,2800	0,0000
	2002	1	1	Malajsie	9,00	5,0x5,0	0,2210	0,0000



Obrázek 22: Intel Celeron (1.typ) (ev.č. 150019), Zdroj: Vlastní

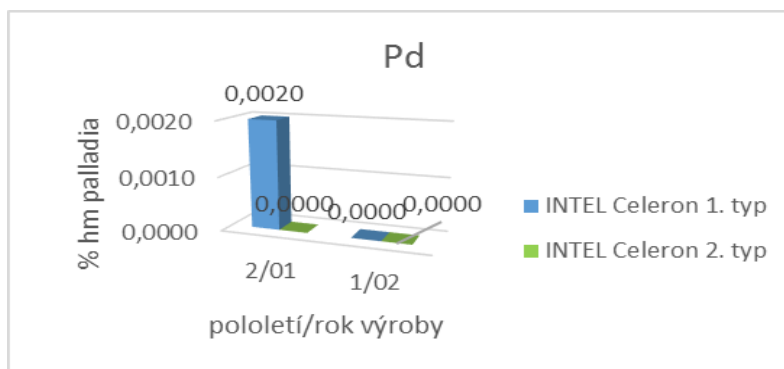


Obrázek 23: Intel Celeron 2: typ (ev.č. 150042), Zdroj: Vlastní

5.4.3.1 Vizuální rozdíly

Procesory se převážně liší zadní stranou, kde jsou umístěny výstupy. Výstupy umístěné po obvodu se u obou typů shodují vizuálně i počtem, nicméně výstupy nacházející se uprostřed procesoru se liší svým počtem i uspořádáním. U prvního typu je těchto výstupů 14, avšak u druhého typu procesoru Celeron je jich pouze 12. Jak si lze všimnout, v horní řadě nalevo a v poslední řadě napravo chybí jeden výstup oproti prvnímu typu. I to může být příčinou naměření rozdílných hodnot.

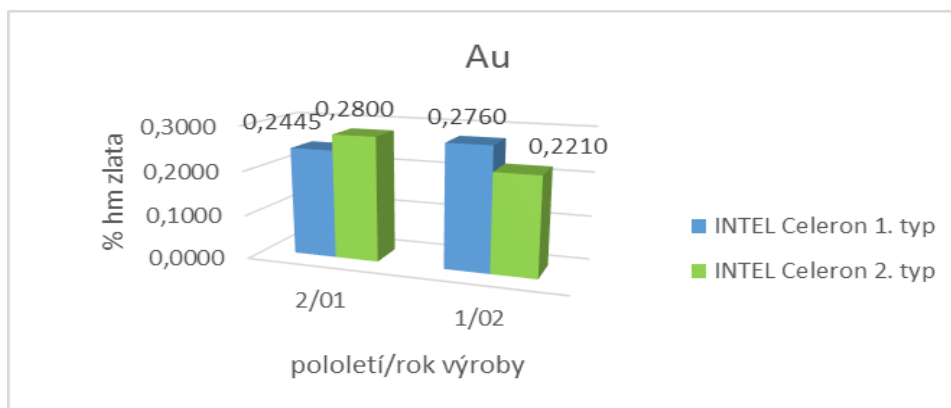
5.4.3.2 Porovnání hmotnostního zastoupení palladia



Obrázek 24: Porovnání hmotnostního zastoupení palladia, Zdroj: Vlastní

Co se obsahu palladia v těchto dvou srovnávaných typech procesorů Intel Celeron týká, bylo zjištěno, že pouze procesor 1. typu z druhé poloviny roku 2001 obsahoval 0,0020 % hm palladia. V ostatních vzorcích nebyl tento kov detekován.

5.4.3.3 Porovnání hmotnostního zastoupení zlata



Obrázek 25: Porovnání hmotnostního zastoupení zlata, Zdroj: Vlastní

Obsah zlata v těchto srovnávaných procesorech byl velmi proměnlivý. Ve druhé polovině roku 2001 obsahoval více zlata typ 2, a to 0,2800, což bylo o téměř 0,0400 % hm zlata více než u prvního typu. Avšak v následujícím pololetí obsahoval naopak více zlata procesor 1. typu, a to 0,2760 % hm tedy o více jak 0,0500 % hm zlata více.

5.5 Srovnání procesorů AMD a Intel

Zkoumané základní procesorové jednotky značky AMD a Intel mají čtvercový tvar. Mají dvojí rozměry – 5,0 x 5,0 cm a 3,5 x 3,5 cm. Viditelnější rozdíl lze pozorovat ze zadní strany procesorů, kde jsou po obvodu umístěny v několika řadách vývody. Jejich uspořádání se mění v závislosti na typu a roku výroby procesorů.

Množství těchto vývodů na jednotlivých procesorech má dle měření vliv i na hmotnostním zastoupení jednotlivých prvků, zejména pak zlata. Tyto vývody bývají pozlacené z důvodů lepší elektrické vodivosti.

Vzhledem k tomu, že nebyly dostupné procesory značky AMD ze všech zkoumaných let, je problematické jejich srovnání s procesory Intel v rámci vývoje zkoumaných prvků v rozmezí let 2000 - 2009.

Měřením procesorů se zjistilo, že procesory AMD jsou těžší než procesory Intel. Procesorové jednotky AMD o velikosti 5,0 x 5,0 cm jsou v průměru o více jak 1 g těžší

než procesory Intel. Rozdíl váhy rozměrově menších procesorů značky AMD a procesorů Intel je až 2 g.

Z analýzy prvkového složení vybraných základních procesorových jednotek bylo zjištěno, že procesory Intel obsahují průměrně o více jak 0,0700 % hm zlata více než procesory AMD. U základních procesorových jednotek AMD je toto množství v průměru 0,1916 % hm zlata. V základních procesorových jednotkách Intel se vyskytuje průměrně 0,2614 % hm daného prvku. Přičemž vzorky typu Intel Celeron z druhé poloviny roku 2002 a 2003 obsahovaly více jak 0,3000 % hm zlata. Více než 0,4000 % hm zlata pak bylo nalezeno v procesorech Intel Pentium III 00 z roku 2000. Dále pak Intel 02 z roku 2004 a Intel 04 z první poloviny roku 2008, obsahovaly průměrně 0,5355 % hm daného prvku.

Do základních procesorových jednotek AMD i Intel se dle analýzy zřejmě přidává pouze malé množství palladia. Jeho zastoupení je vyšší u procesorů AMD, přičemž nejvíce palladia ze všech zkoumaných vzorků obsahoval procesor AMD Athlon roku výroby 2003, a to 0,0150 % hm palladia. Z procesorů Intel nejvyšší množství tohoto kovu obsahoval procesor Intel Pentium III 00 z roku 2001, a to 0,0040 % hm. Za zmínku také stojí Intel Celeron z roku 2001 a Intel 06 z roku 2007, ve kterých bylo nalezeno více jak 0,0030 % hm daného prvku. V ostatních procesorech AMD Duron, Sempron a převážně v procesorech Intel Celeron byl tento vzácný kov také zastoupen a to v 0,0020 % hm palladia.

5.6 Další významné prvky

Vzhledem k tomu, že tato diplomová práce je zaměřena na zjištění hmotnostního zastoupení vzácných kovů ve vybraných základních procesorových jednotkách, byl při analýze nastaven na ručním rentgenovém spektrometru mód drahé kovy, minerály a horniny. Zjišťoval se tak převážně obsah vzácných kovů, nicméně bylo zjištěno, že se v procesorech se vyskytují i další prvky včetně dalších přechodných kovů jako jsou Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Nb, Mo, Zr, W, Mr, Cr, V, či Ti. Velké zastoupení v procesorech mají třeba i Rb, Ca, Ba nebo Sr.

Největší hmotnostní zastoupení téměř 60 % hm, zaujímá tzv. balast. Ve velkém množství jsou zastoupeny i další prvky, mezi které patří např. Cu, jehož je v základních

procesorových jednotkách obsaženo více než 24, 5 % hm a Ca s obsahem vyšším jak 7 % hm.

Vzhledem k zadání práce nebylo zastoupení ostatních prvků blíže zkoumáno. Podrobnějším studiem problematiky, by byl překročen rámec diplomové práce.

6 DISKUZE VÝSLEDKŮ

Vzhledem k rychlému technologickému pokroku, je výměna elektronických zařízení velmi rychlá a zároveň potřebná, což vede k obrovskému množství zařízení, které končí jako odpad. Je jednou z nejrychleji rostoucích složek tuhých odpadů a každoroční nárůst ve světě je mezi 3-5% jak uvádí Sun a Xiao a kol. (2015). Nebezpečný obsah odpadních elektrických a elektronických zařízení je důvodem k obavám, protože jsou často odkládána na skládky spolu s komunálním odpadem, kde může dojít k vyluhování těžkých kovů do podzemních vod nebo tvorbě nebezpečných plynů. Na druhou stranu je však třeba řešit i otázku nedostatku vzácných kovů.

Pro další využití se zdají být výhodné především osobní počítače. Dle studií Lekka, Masavetas, a kol. (2015) by byla výhodná jejich recyklace jako jediné skupiny z OEEZ i po finanční stránce. Nejzajímavější součástí těchto odpadů z elektronických a elektrických zařízení vzhledem k potenciálu druhotného využití jsou bezpochyby tištěné desky plošných spojů, tedy i základní procesorové jednotky. A právě na tuto skupinu elektrozařízení byla tato diplomová práce zaměřena.

Nejběžnějšími typy desek s plošnými spoji používanými v počítačích a komunikačních zařízeních jsou vyrobeny ze skleněných vláken vyztuženého epoxidu pryskyřice. Autoři Jie, Ying-Shun a kol. (2015) dále zmiňují, že dalšími kovy, které jsou přítomny v plošných spojích, jsou železo, nikl, stříbro, zlato, palladium a pájky, které se používají k připojení součástek k deskám.

V dnešní době se používá několik metod, které jsou využívány pro zjišťování prvkového složení. Patří mezi ně fluorescenční spektrometrie (XRF), optická emisní spektroskopie (OES), atomová absorpční spektroskopie (AAS), Sun a Xiao a kol. (2015) dále uvádí diferenční skenovací kalorimetrii (DSC) a rastrovací elektronovou mikroskopii (SEM) s energetickou disperzní spektroskopií (EDS).

Pro účely výzkumu v rámci této práce byla vybrána metoda rentgenové fluorescence pro analýzu hmotnostního zastoupení vzácných kovů v základních procesorových jednotkách osobních počítačů. Metoda byla aplikována na pomletý materiál na frakce o velikosti 0,2 mm. Vzhledem k tomu, že rentgenová spektrometrie měří uvolně-

né sekundární záření, neprochází skrz celým vzorkem, lze tak měřit složení materiálů, jen do určité hloubky v závislosti na síle rentgenového záření rentgenového spektrometru.

Původně bylo firmou WEEE a.s. poskytnuto 147 vzorků procesorů. Třicet čtyři procesorů značky AMD a sto třináct procesorů značky Intel. Avšak z toho 97 vzorků bylo plastových s keramickým chladičem na povrchu. Rentgenová spektrometrie měla být využita pro měření jednotlivých bodů těchto procesorů. Nakonec se rozhodlo, že bude vhodnější tyto vzorky před analýzou, pomlet. Avšak pomletí keramických procesorů nebylo možné z důvodů náročnosti pomletí takového materiálu, přičemž by docházelo k nadměrnému opotřebovávání rotoru, což bylo nežádoucí z důvodů vysokých finančních nákladů. V důsledku toho bylo nakonec analyzováno pouhých 50 vzorků.

Vzhledem k nereprezentativnímu množství jednotlivých typů procesorů vyráběných v daných letech, nebylo možné zcela objektivně vykreslit zastoupení vzácných kovů v závislosti na roku výroby. Vývoj hmotnostního zastoupení v letech bylo možné studovat pouze na základě srovnání procesorů jednotlivých výrobců.

Jako způsob přípravy vzorků se jevila jako nejlepší varianta jejich pomletí a následné vsypání do nádoby na vzorky. Dle výzkumem získaných dat lze konstatovat, že zvolená metoda přípravy vzorků nebyla zcela optimální. Vzhledem k tomu, že důležité bylo, jaký materiál se nachází přímo před detektorem přístroje, výsledky ze spektrometru nabývaly odlišných hodnot pro dané prvky při opakovaných měřeních. Při každém dalším měření byl vzorek přesypán, takže se na povrchu při každém pokusu nacházel jiný kousek pomletého materiálu. Největší problém způsobovaly např. výstupy ze zadní strany procesorů. V případě, že se nacházely na povrchu nádoby na vzorky, byly naměřeny vyšší hodnoty vzácných kovů, než když se nacházely na jejím dně. Určitě by bylo vhodnější, pomlet tyto vzorky na jemnější frakce nebo jak uvádí Sun a Xiao a kol. (2015) je přesít a rozdělit do několika skupin dle frakce. Možností by bylo i jejich rozdrcení na jemné frakce (jemná prach), aby se co nejvíce homogenizovaly.

Každá další úprava vzorků zvyšuje náklady na jejich přípravu, což v rámci této diplomové práce nebylo žádoucí. Také z důvodů vysokých nákladů na zapůjčení přístroje, se prováděla analýza velkého množství vzorků ve velmi krátkém čase, proto ne-

bylo možné během analýzy opakovat měření a tím zlepšit některé námi provedené postupy analýzy prvkového složení vybraného elektroodpadu.

Dle Sun a Xiao a kol. (2015) významnou část tištěných spojů tvoří písek, kameny, sklo, keramika a plastové částice, což bylo zjištěno i v rámci této práce. Lekka, Masavetas a kol. (2015) ve svém výzkumu také uvádí, že kovy jsou zde přítomny především pod nekovovými složkami nebo jako kovové dráty nebo slitiny.

Každá země se ať už vědomě či nevědomě zbavuje svých zásob drahých kovů, které jsou obsaženy v elektrozařízeních, zejména pak v deskách tištěných spojů informačních a telekomunikačních zařízeních. Otázkou je, zda způsoby jejich získávání nejsou příliš drahé a tím i neefektivní. Jaké jsou důvody pro to, aby se jednotlivé země těchto OEEZ s vysokým ekonomickým potenciál zbavovaly?

Z České republiky se většina zpětně odebraného a odděleně sebraného odpadu vytřídí a demontují se z něj nejperspektivnější části, jako jsou právě desky plošných spojů, které se na minimální cenu vyvezou do Číny. Zde dojde k recyklaci těchto součástí, ke znovuzískání vzácných a dalších kovů a následně jsou použity do nových elektrozařízení, která se v ČR opět uvedou na trh. Jedná se o ekonomicky nevýhodný proces pro Českou republiku, opakujícího se dovozu a vývozu.

Důvodem toho je, že recyklace je stále poměrně omezená v důsledku heterogenity materiálů. Jejich úprava a obnova drahých kovů z procesorů nebo jiných desek za pomoci tradičních technologií, zahrnuje velmi složité, zdlouhavé a často i velmi nákladné metody, jak zmiňují Behnamfard, Salarirad a kol (2015), které si vyžadují určité zdroje, které nemá každý stát nebo firma k dispozici. Proto tyto technologie v budoucnu nebudou vyhovovat. Je třeba zvážit, zda-li je efektivní dané technologie zavádět a používat, když se ve zkoumaných součástkách nachází jen zlomek vzácných kovů. Nevýhodou také je, že samotné metody získávání drahých kovů jsou mnohdy nešetrné k životnímu prostředí. Proto se do popředí zájmu staví vývoj nových čistých technologií pro recyklaci cenných zdrojů z plošných spojů.

Jednou z metod využitelných pro získání zlata, dále pak stříbra, palladia a mědi z desek s tištěnými spoji je tzv. hydrometalurgie. Behnamfard, Salarirad a kol. (2015) uvádí, že metoda vyžaduje složité chemické úpravy, což vykazuje v kombinaci

s nízkými obsahy zlata malou účinností. Byl proveden výzkum (Lekka, Masavetas a kol. (2015), který se zaměřoval na zhodnocení proveditelnosti získání zlata pomocí elektrodepozice z vodných roztoků, které byly získány po vyluhování tištěných spojů a elektrických kontaktů. Jako vyluhovadlo pro výzkum byla použita Aqua regia (lučavka královská). Ukázala se být účinným vyluhovadlem pro kovy v prášku, které byly získány tepelným zpracováním desek z plošných spojů a kontaktů.

Nevýhodou hydrometalurgie je, že při ní vzniká velké množství odpadních kapalin, kyselin a kalů, které musí být vhodně odstraněny.

Za zmínku stojí i výzkum dle Sarath, Bonda a kol. (2015) prvkového složení desek s tištěnými spoji, který by prováděn podobným způsobem jako výzkum v rámci této diplomové práce. Byl zaměřen na procesory z mobilních telefonů. Stejně tak, jako v případě této diplomové práce, nejprve byly demontovány a shromažďovány procesorové jednotky a ostatní desky plošných spojů. Následně se však dle výzkumu Sarath, Bonda a kol. (2015) procesory drtily na jemný prášek, kdežto ve výzkumu k této diplomové práci se procesory pouze mlely na frakce 0,2 mm. Vzniklý prášek by dále podroben magnetické a elektrostatické separaci, aby došlo k vytřídění materiálu dle velikosti částic na magnetické a nemagnetické, vodivé a nevodivé. I zde se řešil problém toxicity odpadů z mobilních telefonů, zároveň se však výzkum zaměřil i na posuzování životního cyklu a dopadu na životní prostředí těchto OEEZ.

Při tomto výzkumu byla použita také metoda hydrometalurgie, která byla velmi úspěšná. Roztříděné materiály byly klasifikovány ztrátou žíhání, k vyluhování byla také použita lučavka královská a použita metoda ICP-OES (emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem). Vzhledem k tomu, že diplomová práce byla zaměřena pouze na analýzu, nebyla prováděna žádná metoda získávání drahých kovů z procesorů osobních počítačů.

Významným zjištěním z prováděného výzkumu (Sarath, Bonda a kol., 2015) bylo, že z 1 t odpadu mobilních telefonů lze získat zhruba 300 až 500 g zlata spolu s dalšími kovy. Výtěžnost za použití hydrometalurgie byla 24 % a 11% pro měď a zlato. Předpokládá se, že by bylo možné extrahovat více než 95% čistého zlata. Záleží na teplotě a počáteční koncentraci chloru. Jiní autoři jako Behnamfard, Salarirad a kol (2015) použili pro vyluhování zlata a stříbra thiomocovinu.

Sarath, Bonda a kol. (2015) uvádí, že se jedná o velmi šetrné metody k životnímu prostředí. Vzhledem k tomu, že je tato metoda prováděna v kapalině, nedochází k prašnosti a vzniku nebezpečných plynů, ale vznikají odpadní kapaliny, které je také problém odstranit.

Další metodou, kterou lze považovat za alternativní způsob recyklace desek s plošnými spoji je pyrolýza. Jedná se o techniku tepelné recyklace. Lze ji použít k recyklaci syntetických polymerů, které jsou v těchto deskách smíchány se skleněnými vlákny. Pyrolýzou se tvoří plyny, oleje a další látky, které se dají použít např. k výrobě paliv nebo chemikálií. Anorganickou část je možné recyklovat do jiných kompozitních materiálů nebo jiných plastických hmot, interpretuje např. i výzkum dle Zhou, Qiu a kol. (2015).

V rámci výzkumu autorů Hall, Williams a kol. (2015) bylo zjištěno, že jestliže se pyrolýza provádí při dostatečně vysokých teplotách, dojde i k roztavení pájky, kterou jsou elektronické součástky připevněny k deskám plošných spojů. Zároveň dochází k obnově organického podílu, takže je potom snazší separovat kovové části z organického materiálu.

Problémem u této metody je, že procesory a jiné desky s plošnými spoji obsahují zpomalovače hoření, aby se snížila hořlavost desek. Jedná se o bromované nebo fosfátové přísady. Přičemž tyto látky jsou většinou toxické. Proto se většinou nahrazují alternativními zpomalovači hoření, jako je trifenylofosfát nebo trikresylfosfát. (Hall, Williams a kol., 2015)

Anorganickou částí desek plošných spojů jsou převážně kovy a keramika. Analýzou v rámci této práce bylo zjištěno, že desky obsahují různé kovy jako je Cu, Fe, Pb, Zn, a vzácné kovy jako je Au, Pd, dle výzkumu Jie, Ying-Shun a kol. (2015) se v deskách objevuje i Ag, jehož přítomnost byla v práci ověřena pouze u jednoho vzorku z padesáti. Dále Jie, Ying-Shun a kol. (2015) zmiňují i obsah Pt nebo Ta v deskách s plošnými spoji.

Hmotnostní zastoupení platiny a tantalu nebylo v rámci výzkumu této práce možno provádět. Ruční rentgenový spektrometr byl nastavený na mód, kterým bylo možné změřit Ag, Pd, Rh, Ru, Ir, Au, Zn, Cu, Ni, Co, Fe, Al. Kdežto tantal a platina

byly v jiném nastavení přístroje. Jak již bylo řečeno, z časových důvodů byl výzkum soustředěn převážně na zlato, a částečně další vzácné kovy jako je palladium nebo stříbro.

Podstata analýzy prvkového složení procesorů osobních počítačů byla naplněna. Byl ověřen obsah drahých kovů, jak bylo zadáno. Lze konstatovat, že množství zlata se měnilo ve zkoumaných procesorových jednotkách v závislosti na roku výroby jednotlivých vzorků. U procesorů AMD nejvíce zlata obsahovali procesory Duron a Sempron, tedy vzorky z let výroby 2003 – 2006, a to v průměru 0,2191 % hm. Novější typy zastoupeny označením Turion vyrobené v letech 2008 – 2009 obsahovaly průměrně o 0,0380 % hm zlata méně.

U procesorů AMD nelze jednoznačně stanovit, zda hmotnostní zastoupení palladia souvisí s rokem výroby. Vzorky obsahovaly nejvíce palladia v letech 2002 – 2005, přičemž nejvíce ho bylo objeveno v procesoru Athlon z roku 2003. V procesorech vyrobených v roce 2008 – 2009 se palladium téměř nevyskytovalo. Avšak vývoj hmotnostního zastoupení palladia měl kolísavý trend bez ohledu na rok výroby.

Celkově jsou na vzácné kovy bohatší procesory značky Intel. Jejich obsah byl u většiny vzorků podstatně vyšší než u předchozí značky. Zlato bylo detekováno ve všech zkoumaných vzorcích tohoto výrobce. Velké množství zlata bylo objeveno v procesorech z roku 2000 a dále pak 2004, avšak oproti AMD se nejvíce zlata ve zkoumaných procesorech zjistilo v procesoru z roku výroby 2008 Intel 04, a to 0,5810 % hm. Tento vývoj poukazuje na opačný průběh oproti značce AMD. Pokud bylo k dispozici více procesorů Intel z roku výroby 2008 a novější, je pravděpodobné, že bychom zjistily, že naopak Intel do svých procesorů přidává čím dál více zlata, tedy že trend je rostoucí.

Obsah palladia v procesorech AMD a Intel má obdobný kolísavý průběh. Nejvyšší hodnoty daného prvku v procesorech Intel dosahovaly 0,0040 % hm a 0,0035 % hm u vzorků z roku výroby 2001.

7 ZÁVĚR

Diplomová práce je zaměřena na analýzu hmotnostního zastoupení vzácných kovů v základních procesorových jednotkách osobních počítačů. Výzkum se týkal 14 procesorů značky AMD a 36 procesorů značky Intel z let výroby 2000-2009, které byly zkoumány za pomoci metody rentgenové fluorescenční spektrometrie.

Bylo zjištěno, že trend vývoje množství vzácných kovů v procesorech AMD a Intel se liší. V procesorech Intel bylo zjištěno vyšší hmotnostní zastoupení zlata v porovnání s procesory AMD.

U obou typů procesorů byla pozorována závislost mezi rokem výroby a obsahem zlata. Množství zlata obsaženého v procesorech AMD má dle výzkumu mezi roky 2002 – 2009 klesající trend. U procesorů Intel byl sledován trend opačný. Nejnovější procesory z roku 2008 značky obsahovaly nejvíce zlata.

Nebyla podrobněji zjišťována korelace mezi obsahy prvku zlata a palladia. Celkově vyšší hmotnostní zastoupení palladia vykazovaly procesory značky Intel, přičemž naměřené hodnoty nepravidelně kolísaly bez zjištěné závislosti na roku výroby. V procesorech značky AMD bylo detekováno pouze malé množství palladia, které bylo zjištěno převážně v typech do roku 2005.

V České republice se dle MŽP ročně uvede na trh průměrně více než 40 tis. t zařízení informačních technologií a telekomunikačních zařízení, čímž vzniká velké množství elektroodpadu. Celkově je zpětně odebráno a odděleně sebráno průměrně více než 9 tis. t třetí skupiny elektrozařízení dle vyhlášky č. 352/2005 Sb. Tento odpad z elektrických a elektronických zařízení není vhodné vzhledem k toxicitě některých komponent jakkoli skládkovat a vzniká tak nutnost vyvíjet stále nové recyklační technologie.

Jak uvádí studie Lekka, Masavetas, a kol. (2015), nejperspektivnější se pro recyklaci, zdají být právě desky plošných spojů z počítačů. Z ekonomického hlediska je proto vhodné hledat nové způsoby extrakce vzácných kovů z tištěných spojů pro jejich druhotné využití.

PŘEHLED POUŽITÉ LITERATURY

BERTIN, E. P. Principles and practice of X-ray spectrometric analysis. 2nd ed. New York: Plenum Press, 1975. ISBN 978-1-4613-4418-6.

BROEKAERT, J. A. C. Analytical Atomic Spectrometry with Flames and Plasmas. 2nd ed. 2005. ISBN 978-3-527-31282-5.

BROUWER, P. *Theory of XRF: Getting acquainted with the principles*. Lelyweg: PANanalytical B.V., 2003. ISBN 90-9016758-7

GOGOLOVÁ, Klára. *XRF analýza*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati, Fakulta technologická, 2009. 66 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Vratislav Bednarík, Ph.D.

HELÁN, V. *Rentgenová spektrometrie: Sborník přednášek z kurzu*. 2. Upravené a doplněné vydání. Český Těšín: 2 THETA, 2005. ISBN 80-86380-17-3.

JELÍNEK, E.; JULÁKOVÁ, E. Moderní analytické metody v geologii. *Skripta VŠCHT*, 2008.

JUNGA, P., VÍTĚZ, T. a TRÁVNÍČEK, P. *Technika pro zpracování odpadů I*. Vyd. 1. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2015. ISBN 978-80-7509-207-6.

KARLÍČEK, R., et al., *Analytická chemie pro farmaceuty*, 2. vydání. Praha: nakladatelství Karolinum, 2001. 281 s. ISBN 80-246-0348-9.

KLOCKENKÄMPER, R. a Alex von BOHLEN. *Total-reflection X-ray fluorescence analysis and related methods*. Second edition. Hoboken, New Jersey: Wiley, 2015, xvi, 519 pages. ISBN 11-184-6027-8.

KLOUDA, Pavel. *Moderní analytické metody*. 2., upr. a dopl. vyd. Ostrava: Pavel Klouda, 2003, 132 s. ISBN 80-86369-07-2.

KUBOŇ, K. a kol. *Automatická spektrometrie: pro začátečníky a mírně pokročilé*. Ostrava: Dům techniky ČSVTS, 1983, 136 s.

KRAUS, I. *Úvod do strukturální rentgenografie*. Praha, 1985

KUSALA, J. Rentgenové záření: Součást vzdělávacího programu SVET ENERGIE [online]. 2004 [cit. 2011-11-16]. Dostupné na: <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/rtg/rtg.htm>

PRAUS, P., PLACHÁ, D. Vybrané kapitoly z instrumentální analýzy. Studijní opora, Ostrava: VŠB-TUO, 2008.

STUŽKA, V. *Analytická atomová optická spektrometrie: Určeno pro stud. oborového studia analytické chemie a biofyziky na PřF UP*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého, 1994. ISBN 80-706-7403-2.

Legislativní dokumenty:

Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2012/19/ES o odpadních elektrických a elektronických zařízeních

Vyhláška č. 237 /2002 Sb. – o podrobnostech způsobu provedení zpětného odběru některých výrobků

Vyhláška 352/ 2005 Sb. o podrobnostech nakládání s elektrozařízeními a elektroodpady a o bližších podmínkách financování nakládání s nimi ve znění pozdějších předpisů

Zákon č. 185/2001 Sb. o odpadech a o změně některých dalších zákonů

Elektronické zdroje:

BEHNAMFARD, Ali, Mohammad Mehdi SALARIRAD, Francesco VEGLIO, A. MOUTSATSOU, L. FEDRIZZI a Y. YANG. Process development for recovery of copper and precious metals from waste printed circuit boards with emphasize on palladium and gold leaching and precipitation: A feasibility study. *Waste Management* [online]. 2015, **35**, 227-235 [cit. 2016-04-18]. DOI: 10.1016/j.wasman.2013.07.017. ISBN 10.1016/j.wasman.2013.07.017. ISSN 0956053x. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0956053X13003450>

Elektronovela zákona o odpadech: Stručný průvodce zákonem č. 184/2014 Sb., kterým se mění zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech. *ELEKTROWIN* [online]. MŽP, 2014 [cit. 2016-03-05]. Dostupné z:

http://www.elektrowin.cz/cs/download/a_obecne/zakony_vyhlasiky/oodp-strucny_pruvodce_elektronovelou-20141111.pdf

Elektrozařízení. *ASEKOL* [online]. 2014 [cit. 2016-03-05]. Dostupné z: <http://www.asekol.cz/vyrobcu-dovozcu-a-prodejcu/elektrozarizeni/definice/>

Elektrozařízení: Červené kontejnery. *ASEKOL* [online]. 2014 [cit. 2016-03-05]. Dostupné z: <http://www.asekol.cz/obce-a-sber/cervene-kontejnery/vyhody/>

Elektrozařízení: E-box. *ASEKOL* [online]. 2014 [cit. 2016-03-05]. Dostupné z: <http://www.asekol.cz/obce-a-sber/moznosti-spoluprace/sberove-nadoby/e-box/>

HALL, William J., Paul T. WILLIAMS, Xu MIN, Wenjie WU, L. FEDRIZZI a Y. YANG. Separation and recovery of materials from scrap printed circuit boards: A feasibility study. *Waste Management* [online]. 2015, **35**, 227-235 [cit. 2016-04-18]. DOI: 10.1016/j.resconrec.2006.11.010. ISBN 10.1016/j.resconrec.2006.11.010. ISSN 0956053x. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921344906002643>

JIE, Guan, Li YING-SHUN, Lu MAI-XI, Wenjie WU, L. FEDRIZZI a Y. YANG. Product characterization of waste printed circuit board by pyrolysis: A feasibility study. *Waste Management* [online]. 2015, **35**, 227-235 [cit. 2016-04-18]. DOI: 10.1016/j.jaap.2008.08.007. ISBN 10.1016/j.jaap.2008.08.007. ISSN 0956053x. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0165237008001010>

LEKKA, M., I. MASAVETAS, A.V. BENEDETTI, A. MOUTSATSOU, L. FEDRIZZI a Y. YANG. Gold recovery from waste electrical and electronic equipment by electro-deposition: A feasibility study. *Waste Management*[online]. 2015, **35**, 227-235 [cit. 2016-04-18]. DOI: 10.1016/j.hydromet.2015.07.017. ISBN 10.1016/j.hydromet.2015.07.017. ISSN 0956053x. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304386X15300530>

Materiálové využití odpadů. *CENIA* [online]. 2013 © [cit. 2014-03-30]. Dostupné z: http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=materialove_vyuziti_odpadu&site=odpady

Odpadové hospodářství: Zpětný odběr některých výrobků a Zpětný odběr elektrozařízení a oddělený sběr elektroodpad. In: *CENIA* [online]. Praha: CENIA, 2012 [cit. 2016-02-15]. Dostupné z: <http://www1.cenia.cz/www/odpady/zpetny-odber>.

Rema: Systém ekologického nakládání s elektroodpadem [online]. 2012 [cit. 2016-02-15]. Dostupné z: <http://www.remasystem.cz/index.php/obcane/zakladni-pojmy.html>

SARATH, P., Sateesh BONDA, Smita MOHANTY a Sanjay K. NAYAK. Mobile phone waste management and recycling: Views and trends. *Waste Management* [online]. 2015, 46, 536-545 [cit. 2016-04-18]. DOI: 10.1016/j.wasman.2015.09.013. ISSN 0956053x. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0956053X15301227>

SUN, Z.H.I., Y. XIAO, J. SIETSMA, H. AGTERHUIS, G. VISSER a Y. YANG. Characterisation of metals in the electronic waste of complex mixtures of end-of-life ICT products for development of cleaner recovery technology: Views and trends. *Waste Management* [online]. 2015, 35, 227-235 [cit. 2016-04-18]. DOI: 10.1016/j.wasman.2014.09.021. ISSN 0956053x. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0956053X14004437>

Waste statistics - electrical and electronic equipment. In: *Eurostat: Statistics explained* [online]. European Commission, 2015 [cit. 2016-02-15]. Dostupné z: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Waste_statistics_-_electrical_and_electronic_equipment.

ZHOU, Yihui, Keqiang QIU, Xu MIN, Wenjie WU, L. FEDRIZZI a Y. YANG. A new technology for recycling materials from waste printed circuit boards: A feasibility study. *Waste Management* [online]. 2015, 35, 227-235 [cit. 2016-04-18]. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2009.10.083. ISBN 10.1016/j.jhazmat.2009.10.083. ISSN 0956053x. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304389409017348>

Zpětný odběr výrobků - Elektrozařízení: Vybrané ukazatele odpadového hospodářství v oblasti odpadních elektrických a elektronických zařízení. In: *Ministerstvo životního pro-*

středí: Odpadové hospodářství [online]. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2014 [cit. 2016-02-15]. Dostupné z:

[http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/odpadni_elektronicka_zarizeni_nakladani_cr/\\$FILE/OODP-vybrane_ukazatele_elektrozarizeni-2014922.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/odpadni_elektronicka_zarizeni_nakladani_cr/$FILE/OODP-vybrane_ukazatele_elektrozarizeni-2014922.pdf)

Zpětný odběr výrobků - Elektrozařízení: Vybrané ukazatele odpadového hospodářství v oblasti odpadních elektrických a elektronických zařízení za rok 2013. In: *Ministerstvo životního prostředí: Odpadové hospodářství* [online]. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2015 [cit. 2016-02-15]. Dostupné z:

[http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/odpadni_elektronicka_zarizeni_nakladani_cr/\\$FILE/OODP-vybrane_ukazatele_elektrozarizeni2015512.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/odpadni_elektronicka_zarizeni_nakladani_cr/$FILE/OODP-vybrane_ukazatele_elektrozarizeni2015512.pdf)

Zpětný odběr výrobků - Elektrozařízení: Vybrané ukazatele odpadového hospodářství v oblasti odpadních elektrických a elektronických zařízení za rok 2014. In: *Ministerstvo životního prostředí: Odpadové hospodářství* [online]. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2016 [cit. 2016-02-15]. 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).

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1: Symbol elektrozařízení, na něž se vztahuje zpětný odběr, Zdroj: http://www.remasytem.cz/index.php/obcane/zakladni-pojmy.html</i>	17
<i>Obrázek 2: Kolektivní systémy s nejvyšším procentuálním podílem zpětného odběru a odděleného sběru OEEZ ze skupiny 3 za ohlašovací rok 2012, Zdroj: Vlastní dle MŽP, 2014</i>	21
<i>Obrázek 3: Kolektivní systémy s nejvyšším procentuálním podílem zpětného odběru a odděleného sběru OEEZ ze skupiny 3 za ohlašovací rok 2013, Zdroj: Vlastní dle MŽP, 2015</i>	21
<i>Obrázek 4: Kolektivní systémy s nejvyšším procentuálním podílem zpětného odběru a odděleného sběru OEEZ ze skupiny 3 za ohlašovací rok 2014, Zdroj: Vlastní dle MŽP, 2016</i>	22
<i>Obrázek 5: Množství elektrozařízení uvedených na trh a výsledky zpětného odběru a odděleného sběru v EU v letech 2007 – 2012, Zdroj: Vlastní dle Eurostat, 2015</i>	23
<i>Obrázek 6: Množství elektrozařízení uvedených na trh, zpětný a oddělený sběr v ČR za období, Zdroj: Vlastní dle MŽP, 2016</i>	25
<i>Obrázek 7: Množství elektrozařízení skupiny 3 uvedených na trh a výsledky zpětného odběru a odděleného sběru v letech 2011-2014, Zdroj: Vlastní dle MŽP, 2014 - 2016</i>	28
<i>Obrázek 8: Nakládání s elektrozařízeními skupiny č. 3 a elektroodpadem v ČR za ohlašovací období 2012 – 2014, Zdroj: Vlastní dle MŽP, 2014 - 2016</i>	30
<i>Obrázek 9: Průběh zpětného odběru elektrozařízení, Zdroj: Vlastní dle CENIA, 2014</i>	31
<i>Obrázek 10: Interakce RTG záření se hmotou, Zdroj: Vlastní dle Bouwer, 2003</i>	38
<i>Obrázek 11: Vznik charakteristického fluorescenčního záření, Zdroj: Bouwer, 2003</i>	39
<i>Obrázek 12: Schéma XRF spektrometru, Zdroj: Klouda, 2003</i>	40
<i>Obrázek 13: AMD Athlon 2002/01 (ev. č. 150000), Zdroj: Vlastní</i>	48
<i>Obrázek 14: AMD Turion - 2009/02 (ev. č. 150014), Zdroj: Vlastní</i>	49

<i>Obrázek 15: Hmotnostní zastoupení zlata v jednotlivých procesorech značky AMD, Zdroj: Vlastní.....</i>	51
<i>Obrázek 16: Hmotnostní zastoupení palladia v jednotlivých procesorech značky AMD, Zdroj: Vlastní.....</i>	52
<i>Obrázek 17: Intel Celeron 2000/02 (ev.č. 150016), Zdroj: Vlastní.....</i>	54
<i>Obrázek 18: Intel 06 - 2008/01 (ev.č. 150049), Zdroj: Vlastní</i>	55
<i>Obrázek 19: Srovnání hmotnostního zastoupení zlata v procesorech Pentium III 00 vyrobených ve 2. pololetí roku 2000 v Kostarice a na Filipínách, Zdroj: Vlastní</i>	57
<i>Obrázek 20: Hmotnostní zastoupení zlata v jednotlivých procesorech značky Intel, Zdroj: Vlastní.....</i>	58
<i>Obrázek 21: Hmotnostní zastoupení palladia v jednotlivých procesorech značky Intel, Zdroj: Vlastní.....</i>	59
<i>Obrázek 22: Intel Celeron (1.typ) (ev.č. 150019), Zdroj: Vlastní</i>	60
<i>Obrázek 23: Intel Celeron 2: typ (ev.č. 150042), Zdroj: Vlastní.....</i>	61
<i>Obrázek 24: Porovnání hmotnostního zastoupení palladia, Zdroj: Vlastní.....</i>	61
<i>Obrázek 25: Porovnání hmotnostního zastoupení zlata, Zdroj: Vlastní</i>	62

SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1: Počet podaných řádných hlášení za ohlašovací období 2011 – 2014 do ISPOP, Zdroj: Vlastní dle MŽP 2014 - 2016.....</i>	<i>19</i>
<i>Tabulka 2: Množství elektrozařízení skupiny 3 uvedených na trh výrobci zapsanými v Seznamu výrobců elektrozařízení (v rámci kolektivních systémů) a množství zpětně odebraných elektrozařízení a odděleně sebraných elektroodpadů těmito výrobci za ohlašovací rok 2012, Zdroj: Vlastní dle MŽP 2014 – 2016</i>	<i>20</i>
<i>Tabulka 3: Množství elektrozařízení uvedených na trh a výsledky zpětného odběru a odděleného sběru v ČR v letech 2006 – 2014, Zdroj: Vlastní dle MŽP, 2016</i>	<i>24</i>
<i>Tabulka 4: Množství zpětně odebraných elektrozařízení a odděleně sebraných elektroodpadů dle skupin v ČR v letech 2011 – 2014, Zdroj: Vlastní dle MŽP, 2014 - 2016</i>	<i>25</i>
<i>Tabulka 5: Množství elektrozařízení skupiny 3 uvedených na trh a výsledky zpětného odběru a odděleného sběru v ČR v letech 2011 – 2014, Zdroj: Vlastní dle MŽP, 2014 - 2016</i>	<i>27</i>
<i>Tabulka 6: Přehled využití elektroodpadů z elektrozařízení skupiny č. 3 a porovnání s požadavky zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech za Českou republiku za ohlašovací období 2012 - 2014 a porovnání s požadovanou mírou využití EU, Zdroj: Vlastní dle MŽP, 2014 -2016</i>	<i>29</i>
<i>Tabulka 7: Nakládání s elektrozařízeními skupiny č. 3 a elektroodpadem v ČR za ohlašovací období 2012 – 2014, Zdroj: Vlastní dle MŽP, 2014 - 2016</i>	<i>29</i>
<i>Tabulka 8: Evidence zkoumaných procesorů AMD a jejich parametry, Zdroj: Vlastní.</i>	<i>47</i>
<i>Tabulka 9: Evidence zkoumaných procesorů AMD a vypočtené hodnoty, Zdroj: Vlastní</i>	<i>49</i>
<i>Tabulka 10: Seznam zkoumaných procesorů Intel a jejich parametry, Zdroj: Vlastní ..</i>	<i>53</i>
<i>Tabulka 11: Evidence zkoumaných procesorů Intel a vypočtené hodnoty, Zdroj: Vlastní</i>	<i>55</i>

*Tabulka 12: Srovnání dvou typů Intel Celeron rok výroby 02/2001 - 01/2002, Zdroj:
Vlastní 60*

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

EU	Evropská unie
ČR	Česká republika
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
WEEE	Waste Electrical and Electronic Equipment
OEEZ	Odpady z elektrických a elektronických zařízení
t	tuna
%	procento
§	paragraf
kg	kilogram
mg	miligram
g	gram
kV	kilovolt
cm	centimetr
% hm	procentní hmotnost
K	Kelvin
A	ampér
T	tesla
°C	stupeň Celsia

PŘÍLOHY

Příloha č. 1 Skupina č. 3 - Zařízení informačních technologií a telekomunikační zařízení

3.1 Velké sálové počítače, servery

3.2 Minipočítače

3.3 Tiskové jednotky (samostatné centrální tiskárny)

3.4 Osobní počítače (včetně základní procesorové jednotky, myši, monitorů a klávesnic)

3.5 Laptopy (včetně základní procesorové jednotky, myši, monitorů a klávesnic)

3.6 Notebooky

3.7 Elektronické diáře

3.8 Tiskárny

3.9 Kopírovací zařízení

3.10 Elektrické a elektronické psací stroje

3.11 Kapesní a stolní kalkulačky

3.12 Ostatní výrobky nebo zařízení pro sběr, ukládání, zpracování, prezentaci nebo sdělování informací elektronickým způsobem v jiné podskupině neuvedené

3.13 Uživatelské terminály a systémy

3.14 Dálnopisy

3.15 Faxy

3.16 Telefony

3.17 Telefonní automaty

3.18 Bezdrátové telefony

3.19 Mobilní telefony

3.20 Záznamníky

3.21 Ostatní výrobky nebo zařízení pro přenos zvuku, obrazu a jiných informací pomocí telekomunikací v jiné podskupině neuvedené (Vyhláška č. 352/2005 Sb.)

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1 Skupina č. 3 - Zařízení informačních technologií a telekomunikační zařízení