

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



Hodnocení vybraných vlastností elektroodpadu
Diplomová práce

Vedoucí práce:
Ing. Bc. Petr Junga, Ph.D.

Vypracovala:
Bc. Michaela Skrovná

Brno 2017



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Zpracovatelka: **Bc. Michaela Skrovná**
Studijní program: Technologie odpadů
Obor: Technologie a management odpadů
Název tématu: **Hodnocení vybraných vlastností elektroodpadu**
Rozsah práce: 60 stran + přílohy

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte literární rešerši informačních zdrojů (tištěných i elektronických odborných publikací), týkající se problematiky elektroodpadů se zaměřením na vámi specifikovaný druh elektroodpadu, zvolený pro experimentální hodnocení.
2. Proveďte charakteristiku vámi vybraného druhu elektroodpadu, který jste si zvolila pro následné experimentální ověření jeho vybraných vlastností (popiště obecné charakteristiky, způsoby nakládání, možnosti recyklace apod.).
3. Stanovte cíl práce a vypracujte metodiku řešení experimentální části. Specifikujte vybrané vlastnosti, které budou následně analyzovány, postup analýzy a hodnocení zjištěných výsledků u vámi zvoleného druhu elektroodpadu.
4. Proveďte experimentální měření. Zjištěné výsledky zhodnoťte a interpretujte.
5. Na základě hodnocení experimentálních výsledků proveďte diskusi a vyvoďte závěry.

Seznam odborné literatury:

1. KURAŠ, M. – DIRNER, V. – SLIVKA, V. *Odpadové hospodářství*. 1. vyd. Chrudim: Ekomonitor, 2008. 143 s. ISBN 978-80-86832-34-0.
2. JUNGA, P. – VÍTEŽ, T. – TRÁVNÍČEK, P. *Technika pro zpracování odpadů I*. 1. vyd. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2015. 142 s. ISBN 978-80-7509-207-6.
3. LAVELLE, J R. *Waste management : research, technology and developments*. New York: Nova Science Publishers, 2009. 371 s. ISBN 978-1-60456-256-9.
4. STEJSKALOVÁ, V. *Hodnocení vybraných rizikových vlastností elektroodpadu*. Diplomová práce. Brno: MENDELU Brno, 2014. 74 s.
5. PÁRAL, V. *Recyklace elektroodpadů*. Bakalářská práce. Brno: MZLU v Brně, 2007. 51 s.
6. FILIP, J. a kol. *Odpadové hospodářství*. 1. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2002. 116 s. ISBN 80-7157-608-5.


Datum zadání diplomové práce: říjen 2015

Termín odevzdání diplomové práce: duben 2017


Bc. Michaela Skrovná
Autorka práce




Ing. Bc. Petr Junga, Ph.D.
Vedoucí práce


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


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

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci: Hodnocení vybraných vlastností 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 a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a v souladu s platnou Směrnicí 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:.....

.....

podpis

Poděkování

Ráda bych poděkovala panu Ing. Bc. Petru Jungovi, Ph.D. za odborné vedení práce, profesionální přístup a trpělivost při zpracování mé diplomové práce.

ABSTRAKT

Tématem diplomové práce je Hodnocení vybraných vlastností elektroodpadu, mobilních telefonů s dotykovými displeji. Literární část se zabývá všeobecným popisem elektroodpadu, mobilních telefonů včetně jejich komponentů. Experimentální část práce je zaměřena na zjištění materiálového složení zkoumaných telefonů včetně jejich průměrného materiálového složení. Pro experiment se manuálně rozebralo 15 mobilních telefonů různých typů značek. Další část je tvořena analýzou obsahu kovů v dotykových displejích mobilních telefonů metodou rentgenové fluorescenční spektrometrie. Z výsledků bylo zjištěno, že výrobce a výrobní technologie dotykových displejů ovlivňují přítomnost kovů. Všechny zkoumané telefony obsahují drahé i těžké kovy. Hlavním důvodem zjištění je vliv kovů na životní prostředí a lidské zdraví.

Klíčová slova: mobilní telefon, dotykový displej, těžké kovy, drahé kovy

ABSTRACT

The diploma thesis focuses on Evaluation of selected properties kind of electronic waste, mobile phones with touch screens. The literary part deals with a general description of electronic waste, mobile phones including their components. The experimental part is concerned with discovering of material composition of the explored telephones including their average material composition. 15 mobile telephones of various brands have been manually dismantled for the experiment. Another part consists of analysis of metal content in touch screens of mobile phones by a process of x-ray fluorescent spectrometry. It has been found out from the results that the manufacturer and production technology of touch screen phones influence the presence of metals. All researched phones contain precious and heavy metals. The main reason of the discovery is the influence of metals on the environment and human health.

Key words: mobile phone, touch screen, heavy metals, precious metals

OBSAH

1 ÚVOD	9
2 VYBRANÉ NEJDŮLEŽITĚJŠÍ PRÁVNÍ PŘEDPISY	10
2.1 Právní předpisy Evropské Unie	10
2.2 Právní předpisy České republiky	10
2.2.1 Nejdůležitější základní pojmy (vybrané z § 37g)	10
2.2.2 Povinnosti výrobců elektrozařízení (§ 37h).....	11
2.2.3 Zpětný odběr elektrozařízení a oddělený sběr elektroodpadu (§ 37k).....	12
2.2.4 Využívání elektroodpadu (§ 37m)	12
2.3 Ostatní právní předpisy v České republice	13
3 ELEKTROODPAD	14
3.1 Elektroodpad a dopad na životní prostředí a lidské zdraví.....	15
3.2 Zpětný odběr a situace v České republice	15
3.3 Kolektivní systémy	16
3.3.1 Recyklační příspěvek.....	17
4 CHARAKTERISTIKA MOBILNÍCH TELEFONŮ	18
4.1 Vliv mobilních telefonů na životní prostředí	18
4.2 Jednotlivé komponenty mobilních telefonů.....	19
4.2.1 Displeje mobilních telefonů.....	19
4.2.2 Desky s plošnými spoji.....	22
4.2.3 Akumulátory	23
4.2.4 Plastové části telefonů	24
4.3 Způsob nakládání s mobilními telefony.....	25
4.3.1 Recyklace mobilních telefonů	26
4.3.2 Opětovné použití mobilních telefonů	27
4.3.3 Další způsob nakládání	28
CÍL PRÁCE	29
5 MATERIÁL A METODIKA	30
5.1 Materiál.....	30
5.1.1 Základní technické specifikace zkoumaných mobilních telefonů	30

5.2 Metodika	34
5.2.1 Zjišťování materiálového složení mobilních telefonů	34
5.2.2 Měření obsahu vybraných kovů	35
6 VÝSLEDKY	38
6.1 Materiálové složení hodnocených telefonů	38
6.1.1 Sklo	39
6.1.2 Smíšený materiál	40
6.1.3 Kovový materiál	40
6.1.4 Elektrické součástky	40
6.2 Analýza vybraných kovů v dotykových displejích mobilních telefonů a v jejich horních krycích sklech	41
6.2.1 Experimentální měření 1	42
6.2.2 Experimentální měření 2	46
7 DISKUZE	50
7.1 Měření	53
8 ZÁVĚR	58
9 LITERÁRNÍ ZDROJE	61
10 SEZNAM OBRÁZKŮ	67
11 SEZNAM TABULEK	68
12 SEZNAM ZKRATEK	69
13 SEZNAM PŘÍLOH	71

1 ÚVOD

Vlivem technologického vývoje elektronického zařízení dochází ke zvyšování produkce elektroodpadu. Program OSN pro životní prostředí (UNEP) uvádí, že elektronický průmysl produkuje 41 miliónů tun elektroodpadu. Země třetího světa se stávají skládkou pro vyřazenou elektroniku z Evropy, Japonska a USA. Vyřazená elektronika se ukládá na skládky nebo spaluje ve spalovnách odpadů, kde dochází k uvolňování toxických látek. Toxické látky jako olovo, kadmium, rtuť, arsen se uvolňují do životního prostředí, kde způsobují znečištění a ohrožují lidské zdraví. (Wu, 2008)

Životnost mobilních telefonů se zkracuje vlivem technologického vývoje. Výrobci lákají uživatele dostupnými novými modely na trhu. Uživatelé mobilních telefonů své zastaralé modely vyměňují za moderní a technologicky vyspělejší mobilní telefony. Agentura pro ochranu životního prostředí (EPA) tvrdí, že mobilní telefony mají velkou celosvětovou spotřebu a krátkou životnost, která se odhaduje na 9 až 18 měsíců. Po ukončení životnosti jsou tato zařízení často nesprávně odstraněna. (Silveira a kol., 2015)

V současné době výrobci mobilních telefonů uvádějí na trh mobilní telefony s dotykovými displeji. Komponenty mobilních telefonů obsahují nebezpečné látky, které jsou nedílnou součástí jejich výroby (rtuť, kadmium, olovo, lithium a bromované retardéry hoření). Dotykové displeje jsou složeny z vrstev různého materiálu, které mohou mít negativní dopad na životní prostředí. Mobilní telefony svou sníženou životností přispívají k produkci velkého množství elektroodpadu. Mohou se stát součástí směsného komunálního odpadu a některá nepoužívaná zařízení zůstávají v domácnostech.

Problematika elektroodpadu je důležitá z hlediska jeho dopadu na životní prostředí. Zejména mě zaujali chytré telefony a vliv displeje na prostředí. Diplomová práce se zabývá hodnocením vlastností mobilních telefonů z hlediska obsahu kovů v displejích a jejich možný vliv na kontaminaci okolního prostředí.

2 VYBRANÉ NEJDŮLEŽITĚJŠÍ PŘÁVNÍ PŘEDPISY

Hlavním cílem právních předpisů je předcházet vzniku odpadních elektrozařízení a v rámci nakládání s elektrozařízením zvýšit jejich opětovné použití, recyklaci a další využívání.

2.1 Právní předpisy Evropské Unie

- Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2011/65/EU o omezení používání některých nebezpečných látek v elektrických a elektronických zařízeních.

Tato směrnice stanovuje, aby elektrozařízení, uváděné na trh, obsahovalo přípustné množství stanovených nebezpečných látek pro ochranu životního prostředí a lidského zdraví. Zejména se jedná o kadmium, olovo, rtuť, polybromované bifenyly (PBB) a polybromované difenylethery (PBDE). (EUR – Lex, 2017)

- Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2012/19/EU o odpadních elektrických a elektronických zařízeních (OEEZ)

Cílem této směrnice je snaha o zlepšení účinnosti ochrany životního prostředí všemi subjekty, které jsou zapojeny do životního cyklu elektrických a elektronických zařízení. Mezi tyto subjekty patří výrobci elektrozařízení, distributoři, spotřebitelé a subjekty, kteří jsou zapojeni do sběru a zpracování odpadních elektrických a elektronických zařízení. (EUR – Lex, 2017)

2.2 Právní předpisy České republiky

- Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech ve znění pozdějších předpisů
§ 37f až § 37s zahrnují Směrnici Evropského parlamentu a Rady 2012/19/EU o odpadních elektrických a elektronických zařízeních (OEEZ). Zákon dále upravuje povinnosti výrobců, distributorů, konečných uživatelů a zpracovatelů elektroodpadu. Příloha č. 7 zákona č. 185/2001 Sb. popisuje hlavní skupiny elektrozařízení. (ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ, 2015)

2.2.1 Nejdůležitější základní pojmy (vybrané z § 37g)

Elektrické nebo elektronické zařízení je zařízením, jehož funkce závisí na elektrickém proudu, elektromagnetickém poli nebo zařízení k výrobě, přenosu a měření elektrického

proudu nebo elektromagnetického pole. Současně je určeno pro použití při napětí nepřesahujícím 1000 V pro střídavý proud a 1500 V pro stejnosměrný proud.

Elektroodpad je elektrozařízení, které se stalo odpadem, včetně komponentů, konstrukčních a spotřebních dílů.

Elektrozařízení pocházející z domácností je použité elektrické a elektronické zařízení, které pochází z domácností nebo svým charakterem a množstvím jemu podobný elektroodpad od fyzických a právnických osob oprávněných k podnikání.

Opětné použití znamená použití zpětně odebraného nebo odděleně sebraného elektrozařízení nebo komponentů takového elektrozařízení bez jejich dalšího přepracování ke stejnému účelu, ke kterému byly původně určeny.

Zpracování elektroodpadu znamená jakoukoliv operaci, prováděnou po převzetí elektroodpadu do zařízení ke zpracování elektroodpadu za účelem jeho dekontaminace, demontáže, drcení, využití nebo přípravy na odstranění nebo jakákoliv jiná činnost provedená s cílem využití nebo odstranění elektroodpadu.

Výrobce je právnická nebo fyzická osoba, která je oprávněna k podnikání a která bez ohledu na způsob prodeje, pod vlastní značkou vyrábí a prodává elektrozařízení nebo pod vlastní značkou elektrozařízení prodává vyrobená jinými dodavateli nebo dováží, uvádí elektrozařízení v České republice na trh.

Zpětný odběr elektrozařízení znamená odebírání použitých elektrozařízení pocházejících z domácností od konečných uživatelů bez nároku na úplatu na místě určené výrobcem.

Oddělený sběr elektroodpadu znamená odebírání použitých elektrozařízení, které nepochází z domácností, od konečných uživatelů v místě odděleného sběru určeného výrobcem.

2.2.2 Povinnosti výrobců elektrozařízení (§ 37h)

Výrobce elektrozařízení musí splnit povinnosti, které jsou stanovena pro zpětný odběr, oddělený sběr, zpracování, využití a odstranění elektrozařízení a elektroodpadu buď:

- samostatně, organizačně a technicky na vlastní náklady,
- společně s jiným výrobcem nebo výrobcí na základně písemné smlouvy nebo,

- přenesením povinností výrobce elektrozařízení na jinou, právnickou osobu, která zajišťuje společné plnění povinností výrobců.

Výrobce má povinnost vypracovat roční zprávu o plnění povinností vždy za uplynulý kalendářní rok. Tuto roční zprávu je povinen zasílat do 31. 3. Ministerstvu životního prostředí. Pokud výrobce elektrozařízení plní povinnosti spolu s dalším výrobcem, mohou roční zprávu zpracovat společně. A v případě, že výrobce přenesl povinnosti na jinou, právnickou osobu, zpracovává roční zprávu tato právnická osoba.

2.2.3 Zpětný odběr elektrozařízení a oddělený sběr elektroodpadu (§ 37k)

Výrobce elektrozařízení má povinnost zajistit zpětný odběr elektrozařízení, které pochází z domácností a zajistit oddělený sběr pro elektroodpad nepocházející z domácností. Pro účely zpětného odběru elektrozařízení a odděleného sběru elektroodpadu má výrobce povinnost označit elektrozařízení grafickým symbolem (označení úplně nebo vzhledem k velikosti, funkci elektrozařízení se může označit na obalu, na návodu k jeho použití nebo záručním listě). Konečný uživatel musí být informován o způsobu provedení odděleného sběru, který musí zajistit výrobce prostřednictvím distributorů. Poslední prodejce musí zajistit, aby konečný uživatel měl mít při nákupu elektrozařízení možnost ke zpětnému odběru odevzdat použité elektrozařízení v místě prodeje nebo dodávky nového elektrozařízení. Elektrozařízení pocházející z domácností nebo elektroodpad se smí předat pouze zpracovateli nebo na místo odděleného sběru nebo zpětného odběru.

2.2.4 Využívání elektroodpadu (§ 37m)

Výrobce je povinen vytvořit systém, podle kterého bude zajištěno využití elektroodpadu navazující na zpětný odběr elektrozařízení nebo oddělený sběr elektroodpadu. Před předáním zpětně odebraných a odděleně sebraných elektrozařízení zpracovateli se musí opětovně použít jako celek. Opětovně použít jde pouze elektrozařízení nebo jejich komponenty, které splňují požadavky příslušných právních předpisů. Dále je výrobce elektrozařízení povinen zajistit využití elektroodpadu, který byl předán zpracovatelům, a to minimálně v rozsahu jejich využití stanoveno v příloze 14 k tomuto zákonu.

2.3 Ostatní právní předpisy v České republice

Vyhlášky, které se zabývají problematikou elektroodpadu:

- Vyhláška č. 352/2005 Sb., o podrobnostech nakládání s elektrozařízeními a elektroodpady a o bližších podmínkách financování nakládání s nimi ve znění pozdějších předpisů
- Vyhláška č. 237/2002 Sb., o podrobnostech způsobu provedení zpětného odběru některých výrobků ve znění pozdějších předpisů
- Vyhláška č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady ve znění pozdějších předpisů (MŽP, 2017)

3 ELEKTROODPAD

Elektroodpad je odpad pocházející z elektrických a elektronických zařízení vznikající v oblastech lidské činnosti. Elektrický a elektronický odpad je směs různých kovů a jejich slitin, chemických sloučenin, skla, plastů a keramiky. Složení tohoto druhu odpadu je rozmanité a závisí na druhu výrobku, velikosti a zemi původu. (Křištofová, 2005)

Hlavní materiálové složení podle Křištofové (2005):

- Kovy – 40 hm. %
Nejvýznamněji zastoupenými kovy jsou železo (Fe) 15 hm. %, měď (Cu) 20 hm. %, cín (Sn) 4 hm. %, nikl (Ni) 2 hm. %, olovo (Pb) 2 hm. %, hliník (Al) 2 hm. %, zinek (Zn) 1 hm. %
- Plasty – 30 hm. %
Nejvýznamněji zastoupenými plasty jsou polypropylen (PP), polyethylen (PE), polyester (PES) 25 hm. %
- Keramika – 30 hm. %

Odpad z elektrických a elektronických zařízení patří v současné době k nejrychleji rostoucímu toku odpadů na světě s roční mírou růstu 3 až 5 %. Každý rok je produkováno 30 až 50 miliónů tun elektroodpadu v celosvětovém měřítku. Odhaduje se, že občan v Evropské unii vyprodukuje 17 až 20 kg odpadu z elektrických a elektronických zařízení. V České republice se ročně vyprodukuje asi 10 až 14 kg tohoto druhu odpadu (Cucchiella a kol., 2015, Kizlink, 2015).

Tento odpad obsahuje velké množství cenných druhotných surovin, které se získávají recyklací. Z ekonomického a environmentálního hlediska je výhodné elektroodpad recyklovat a dále využívat. Kromě cenných surovin může obsahovat nebezpečné látky pro lidské zdraví a životní prostředí. V Evropské unii se 60 % elektroodpadu ukládá na skládkách a v České republice končí na skládkách 82 % elektroodpadu. (Junga a kol., 2015, Brožová, 2014)

3.1 Elektroodpad a dopad na životní prostředí a lidské zdraví

Elektroodpady způsobují v mnoha zemích sociální a environmentální problémy. Bylo zjištěno, že tento druh odpadu je dodáván do rozvojových zemí Afriky a Asie, kde představuje závažnou hrozbu pro lidské zdraví a životní prostředí, protože je s nimi nakládáno nešetrným způsobem. Elektroodpad je rozebírán ručně v nevyhovujících pracovních podmínkách, bez použití ochranných pomůcek. Hlavním problémem je pálení izolačního materiálu, vyluhování a leptání obvodových desek v kyselinách pro získání drahých kovů. (Rucevska a kol., 2015)

Látky se mohou uvolňovat do okolního prostředí, kde se mohou dostávat do potravního řetězce. Potravním řetězcem se mohou dané látky z odpadů dostat prostřednictvím živočichů do lidského organismu a ohrozit lidské zdraví. Proto je důležité předcházet nebo minimalizovat obsah nebezpečných látek už ve výrobcích. (MŽP, 2014).

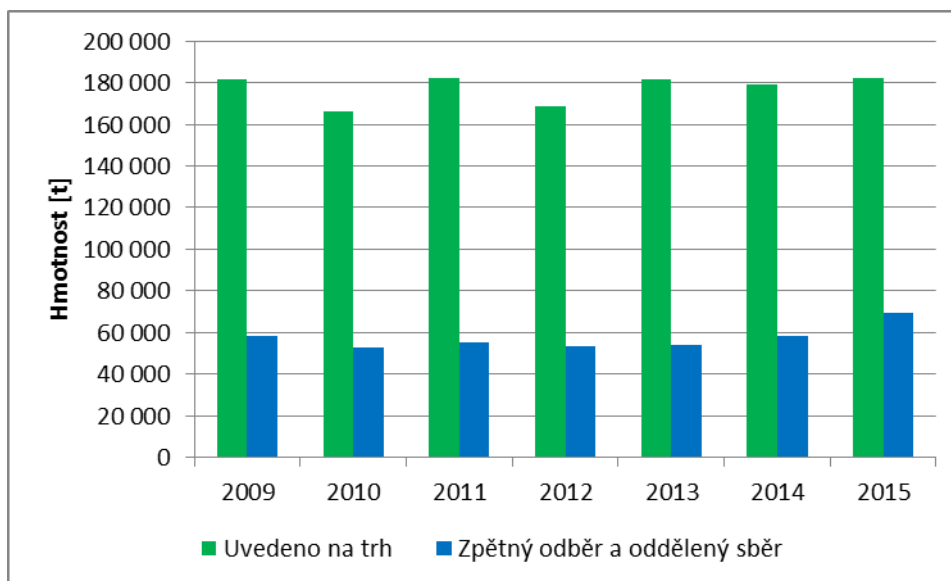
3.2 Zpětný odběr a situace v České republice

Zpětný odběr elektrozařízení se týká použitých elektrozařízení, která pocházejí z domácností a která se odevzdávají na místech zpětného odběru, u zpracovatelů elektroodpadů nebo u posledních prodejců elektrospotřebičů. Pro elektroodpad, který nepochází z domácností, výrobce elektrozařízení zajišťuje jeho oddělený sběr.

Způsob sběru elektrozařízení a elektroodpadu, podle společnosti ASEKOL (2014) probíhá:

- Sběrné dvory
- Prodejny elektrospotřebičů – poslední prodejce (kus za kus)
- Servisy a opravy elektrospotřebičů – místa zpětného odběru
- Sběrné kontejnery na vysloužilé elektrozařízení
- Mobilní svoz – v malých obcích
- E-box – nádoby ve firmách a obecních úřadech

Podle zákona o odpadech lze povinnosti výrobce a dovozce elektrozařízení plnit samostatně, solidárně nebo prostřednictvím právnické osoby (kolektivních systémů). Ve většině případů tyto povinnosti výrobci plní pomocí kolektivních systémů (tzv. přenesením povinností na jinou právnickou osobu, která zajišťuje společné plnění povinností výrobců uvedených v kapitole 3.3 Kolektivní systémy.



Graf 1 Množství elektrozařízení uvedeného na trh a zpětně odebrané elektrozařízení v ČR [t], v letech 2009 až 2015. (MŽP, 2016)

Statistická ročenka uvedená Ministerstvem životního prostředí (MŽP, 2016) ukazuje na zpětný odběr elektrozařízení v ČR v letech 2009 až 2015. Od roku 2009 má oddělený sběr a zpětný odběr ustálený vývoj až na rok 2015, kde celkově činil 69 446 tun, oproti předchozímu roku došlo k navýšení o 10 861 tun (Graf 1). Navýšení množství sběru elektrozařízení je dáno novelizací právních předpisů, které lze pozorovat až v roce 2015 z důvodů nabití účinnosti až v druhé polovině roku 2014. Další navýšení je způsobeno i tím, že od roku 2015 kolektivní systémy odebírají i nekompletní elektrozařízení, investují do sběrné sítě a započítávají subjektů, které nemají smlouvy s kolektivními systémy. Celkem bylo uvedeno na trh 1 242 310 tun elektrozařízení v průběhu sledovaných 7 let. Celkově bylo v průběhu 7 let zpětně odebráno 402 555 tun elektrozařízení. Rozdíl ve zpětném odběru může být také způsoben větší osvětou obyvatel a vyhlášením motivačním projektů pro sběr kolektivními systémy.

3.3 Kolektivní systémy

Kolektivní systémy založili výrobci výrobků, které podléhají zpětnému odběru. Od roku 2005 jsou systémy financovány výrobcem a dovozci elektrozařízení. Systémy jsou neziskové povahy, které zajišťují sběr, svoz a recyklaci odpadních elektrických a elektronických zařízení (OEEZ) a zároveň poskytují informace o jejich způsobu nakládání. V České republice převažuje způsob zpětného odběru prostřednictvím kolektivních systémů například ASEKOL a.s., ELEKTROWIN a.s., a dalších.

Výrobce elektrozařízení přenáší své povinnosti na jinou právnickou osobu, která zajišťuje (ELEKTROWIN, 2017) :

- finanční prostředky pro nakládání s historickým elektrozařízením, které pochází z domácností uvedeným na trh před 13. 8. 2005,
- finanční prostředky pro zpětný odběr, zpracování, využití a odstranění elektrozařízení, které pocházejí z domácností a jsou uvedeny na trh po 13. 8. 2005,
- financování nakládání s elektroodpady (elektrická a elektronická elektrozařízení nepocházející z domácností).
- zpracování roční zprávy pro MŽP ČR do 31. 3. o plnění povinností

3.3.1 Recyklační příspěvek

V ceně nově zakoupeného elektrozařízení je zahrnut recyklační příspěvek. Z recyklačního příspěvku jsou hrazeny náklady na zpětný odběr elektrozařízení, recyklaci a opětovné použití. Výrobci odvádějí příspěvky do kolektivních systémů a jejich výše závisí na typu elektrozařízení.

Recyklační příspěvky se skládají z části (ASEKOL, 2013):

- PHE (příspěvek na historické elektrozařízení) – příspěvek je určen pro elektrozařízení uvedená na trh do 13. 8. 2005, tzv. viditelný poplatek.
- PNE (příspěvek na nakládání s novodobým elektrozařízením) – příspěvek je určen pro elektrozařízení uvedené na trh po 13. 8. 2005, tzv. skrytý poplatek.

Od roku 2013 došlo k ukončení recyklačního příspěvku na historické elektrozařízení a možnosti ho viditelně účtovat. Kategorie velkých bílých elektrospotřebičů se tato změna týkala o dva roky později, až v srpnu 2015. Výrobci i dovozci, kteří uvádějí elektrozařízení na trh v ČR, však mají stále povinnost na recyklaci historického elektrozařízení stále přispívat. Došlo pouze ke zjednodušení vybírání příspěvku a sjednocení do jednoho poplatku. Kolektivní systém ASEKOL bude v souladu s platnou legislativou a rozhodnutím Ministerstva životního prostředí nadále zajišťovat zpětný odběr historického zařízení až do doby, než dojde k jeho vysbírání a recyklaci od spotřebitelů. (ASEKOL,2013)

4 CHARAKTERISTIKA MOBILNÍCH TELEFONŮ

Mobilní telefony jsou nepostradatelnou součástí našeho života. Jedná se o elektronické zařízení, které umožňuje přenos zvuku a dat.

Komponenty telefonů jsou vyrobeny z různorodého materiálu, které obsahují vzácné a nebezpečné látky. Mobilní telefon obsahuje více než 40 chemických prvků, včetně kovů jako je železo (Fe), měď (Cu), nikl (Ni), hliník (Al), cín (Sn), vzácné kovy, jako kobalt (Co), antimon (Sb), indium (In). Z drahých kovů zlato (Au), stříbro (Ag), palladium (Pd) a platina (Pt). Dále obsahuje toxické a nebezpečné látky, jako je olovo (Pb), arsen (As), kadmium (Cd), brom (Br) a další. (Manivannan kol., 2016)

Životnost mobilních telefonů se odhaduje na 9 až 18 měsíců vlivem technologického vývoje. Uživatelé mobilních telefonů své zastaralé modely vyměňují za moderní a technologicky vyspělejší mobilní telefony. Po ukončení životnosti jsou tato zařízení často nesprávně odstraněna. Některá zařízení zůstávají v domácnostech a některá se špatným zacházením stanou součástí směsného komunálního odpadu. Pak tyto zařízení mohou mít negativní dopad na životní prostředí. (Silveira a kol., 2016)

Každý rok se v USA vyřazuje 130 milionů a v Evropě 110 milionů kusů mobilních telefonů. Polák a Drápalová konstatují, že v České republice v letech 1990 až 2000 vzniklo asi 45 tisíc kusů odpadních mobilních telefonů. V letech 2000 až 2010 toto množství narostlo na 6,5 milionů kusů a je předpoklad růstu v dalších deseti letech až na 26 milionů kusů odpadních mobilních telefonů. (Kuraš, 2014, Polák a Drápalová, 2012)

4.1 Vliv mobilních telefonů na životní prostředí

Elektroodpad zahrnuje obrovský potenciál cenných surovin, ale také představuje značné riziko pro ekosystémy obsahem toxických látek (olovo, kadmium, rtuť, polybromované bifenylly a difenylethery aj.). (Filip a kol., 2003)

Na výrobu LCD displeje, desky s plošnými spoji, plastových rámců a akumulátoru, jsou používány různé materiály, které obsahují nebezpečné látky jako rtuť, kadmium, olovo, lithium a bromované retardéry hoření. (Mrozik a kol., 2014, Manivannan, 2016)

Koncentrace těžkých kovů v displejích závisí na výrobci a taky na heterogenním složení jejich komponentů. Konkrétní výsledky obsahu kovů v displejích jsou uvedeny v kapitole 8.2.

Bencko a kol. (1984), tvrdí, že v důsledku rozvoje moderní techniky dochází ke zvyšování produkce těžkých kovů. Zvyšování koncentrace kovů negativně působí na životní prostředí. Všeobecně kovy nepodléhají chemickému rozkladu a hromadí se v povrchových vrstvách půdy. Zvýšením obsahu toxických kovů v půdě dochází k nárůstu obsahu těchto kovů v rostlinné a živočišné potravě.

Hlavním zdrojem znečištění životního prostředí je způsobeno výrobou kovů, jejichž přirozená koncentrace v životním prostředí je relativně nízká. Příkladem může být únik kadmia nebo lithia v akumulátoru z jednoho telefonu, které by mohlo kontaminovat 600.000 tisíc litrů vody. (Manivannan 2016)

4.2 Jednotlivé komponenty mobilních telefonů

Mobilní zařízení obsahuje desku s plošnými spoji, LCD displej, anténu, plastové pouzdro a akumulátor. Je složeno z 35 až 40 % kovů, 12 % keramiky, 6 % epoxidové pryskyřice, 40 až 45 % plastů a 2 až 3 % ostatních materiálů. Materiálové složení komponentů chytrých telefonů je uvedeno v experimentálním měření. Některé materiály mají vysokou přidanou hodnotu, například přítomnost india ve formě oxidu india a cínu tzv. ITO (směs oxidu india a cínu). Indium je vzácný kov, u kterého je vhodné jej recyklovat z vyřazených LCD obrazovek z důvodu jeho ziskovosti, protože je to neobnovitelný přírodní zdroj. (Wilhelm a kol., 2015, Silveira a kol., 2015)

4.2.1 Displeje mobilních telefonů

V současné době výrobci produkují převážně tzv. chytré telefony, jejichž hlavní část tvoří dotykové displeje. V současné době se displeje podle použité výrobní technologie liší na LCD (Liquid Crystal Display) a OLED (Organic Light Emitting Display).

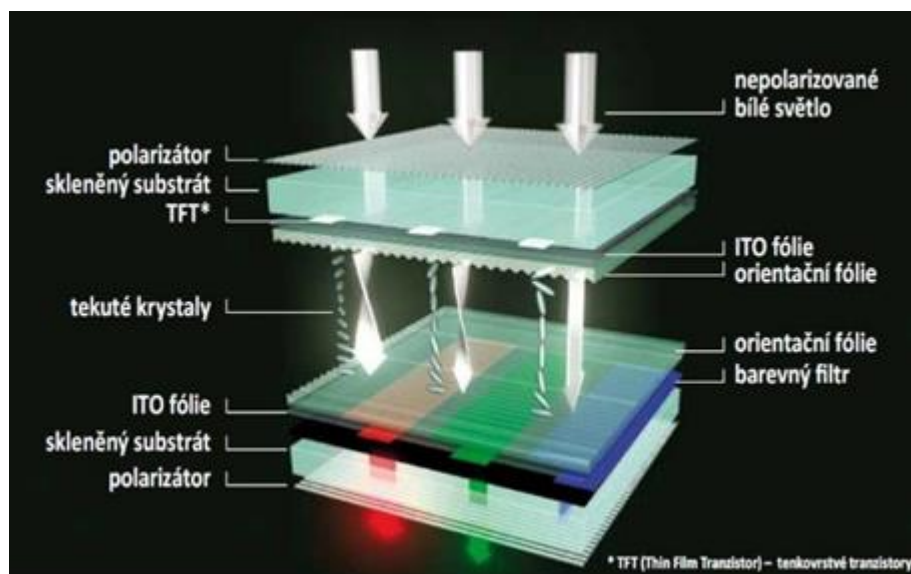
Převážná část displeje je tvořena tvrzeným sklem, které tvoří ochranu před jeho poškozením. Příkladem krycího skla je Gorilla Glass od společnosti Corning, která vyrábí různé druhy tvrzeného skla aplikovatelných nejen u chytrých telefonů, ale i pro další dotykové zařízení. Skla jsou převážně vyrobena z křemičitanu hlinitého. Skla mohou obsahovat antireflexní vrstvu. (Corning, 2016)

LCD Displej

Displej z tekutých krystalů pochází z anglického slova Liquid Crystal Display. Jedná se o zobrazovací jednotku s tekutými krystaly. Krystaly jsou organické sloučeniny, které spojují v sobě vlastnosti kapalin (tekutost) s vlastnostmi krystalických látek (určené uspořádání molekul v prostoru). Krystaly jsou vlivem elektrického pole nebo tepla schopny měnit své zabarvení nebo průhlednost. Při působení elektrického pole dochází k natočení molekul krystalu. Zobrazovací princip je založen na změně propustnosti tekutých krystalů způsobené elektrickým polem. (ASEKOL, 2011, Matoušek, 2006)

U dotykových LCD displejů je nejpoužívanější kapacitní technologie, která funguje na vodivosti lidského těla. Jedná se o doplňkovou vrstvu před samotným displejem, která obsahuje svou (vlastní řídicí) elektroniku. Řídicí elektronika rozpozná místo dotyku a informuje operační systém. Reaguje v místě, kde se uzavře obvod. Tento typ displeje je ovladatelný pouze prstem nebo speciálními pomůckami. Přiložením prstu dochází ke změně elektrického pole. Displej je složen z pevného skla, které je potaženo průhlednou vodivou ITO vrstvou. (Konvalinka, 2013)

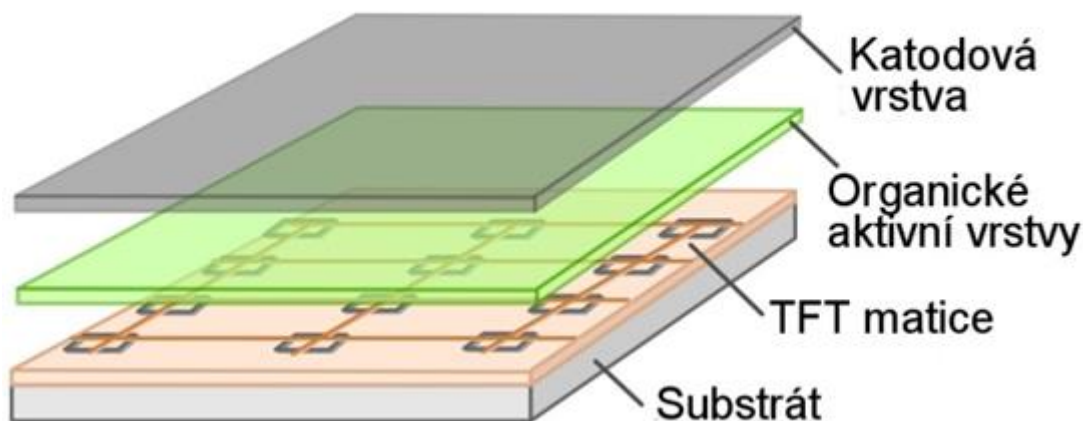
Displeje s tekutými krystaly a tranzistory v tenké vrstvě (TFT LCD – Thin Film Transistor) jsou aktivní displeje, jejichž každý obrazový bod je ovládán svým vlastním tranzistorem, který udává natočení krystalů daného bodu. Jednotlivé obrazové body obsahují spínací mikroskopické tranzistory, pomocí nichž jsou body buzeny.



Obr. 1 Složení TFT LCD displeje (Google,2017)

OLED displej

Jsou elektroluminiscenční displeje (Organic Light Emitting Diode). Využívají technologii elektroluminiscenčních diod. Skládají se z několika vrstev organického materiálu sendvičově uložených mezi vodivou anodou a katodou. Jednotlivé elementy anody pokryté příslušnou organickou emisní vrstvou jsou překryty nedělenou průhlednou katodou, přes kterou je vyzařováno světlo. OLED displeje používají organické materiály, které vyzařují světlo po připojení na elektrický obvod. Displej oproti LCD nepoužívá podsvícení ani polarizátory, samotný displej vyzařuje světlo. Největším technickým problémem OLED je omezená životnost organických materiálů. Nejvíce využívaným displejem je AMOLED (Active-Matrix OLED), jehož struktura je podobná jako u TFT LCD displejů. Obsahuje dvojnásobný počet tranzistorů v tenké vrstvě, kterými dochází ke spínání každého pixelu. (Universal Display Corporation, 2017)



Obr. 2 Složení AMOLED displeje (Google, 2017)

Nakládání s odpadními displeji

Odpadní dotykové displeje z mobilních telefonů jsou spalovány ve spalovnách odpadu nebo ukládány na skládkách, protože pro ně není prozatím jiné využití. V současné době se vědecké práce zabývají recyklací tekutých krystalů, zpětným získáním prvku india a také využití odpadního LCD skla jako vstupní suroviny pro výrobu betonu. Výzkumníci se zaměřují většinou na recyklaci india a skla, ale nikdo neposkytl komplexní úvahu o odstranění LCD.

Recyklace tekutých krystalů není stále vyřešena, protože se vyskytují ve směsi několika typů. Krystaly by se museli roztrždit na jednotlivé typy a to je ekonomicky náročné. Společnost Merck, světový výrobce krystalů po provedení testů na toxicitu tvrdí, že krystaly nejsou nebezpečné. (ASEKOL, 2011)

V Tchaj-wanu bylo v roce 2009 uloženo na skládky přibližně 0,52 milionu tun odpadního skla a celkově 6000 tun TFT-LCD odpadu. Sklo z TFT LCD displeje se může využít jako skleněný keramický materiál, avšak s obsahem těžkých kovů. (Lin a kol., 2009)

Některé materiály mají vysokou přidanou hodnotu, jedním z takových materiálů je přítomnost india ve formě směsného oxidu india a cínu $\text{In}_2\text{O}_3 \cdot \text{SnO}_2$ tzv. ITO vrstva (směs oxidu india a cínu) vyskytující se v LCD displejích. Odhaduje se, že do roku 2020 bude prvek indium ze zemské kůry vyčerpán v důsledku vysoké spotřeby při výrobě elektronických zařízení. Náhrada tohoto chemického prvku nebyla zatím nalezena. Z tohoto důvodu je nutno recyklovat elektronické displeje a indium znovu využívat. Obnovení india z LCD obrazovek se v současné době experimentálně provádí za použití postupů jako je extrakce rozpouštědlem, selektivní srážení a vakuově chlorovaná separace. (Silveira a kol., 2015)

4.2.2 Desky s plošnými spoji

Plošné spoje tvoří základní složku v elektrických a elektronických zařízeních, které zahrnují téměř všechny chemické prvky včetně elektronických součástek. Plošné spoje jsou tvořeny ze skelných vláken, kovů a pryskyřičného materiálu. Nejvyužívanějším typem laminátu je vrstvený materiál tvořen skelnou tkaninou a epoxidovou pryskyřicí. (Junga a kol., 2015)

Průměrné hmotnostní složení desek podle materiálu je 30 % žáruvzdorných oxidů (oxid hlinitý, křemičitý a oxidy vzácných zemin), 30 % polymerů (epoxidových a polyesterových), a 40 % kovů (železo, cín, nikl, olovo, měď, stříbro atd.). Zejména mobilní telefony a počítače oproti jiným elektronickým zařízením obsahují bohaté desky, které obsahují velké množství drahých kovů. (Kasper a kol., 2011)

Desky obsahují toxické látky jako olovo nebo halogenidy. Přítomnost olova, těžkých organických látek a halogenidů se nahrazují šetrnějšími prostředky k životnímu prostředí. Náhradním prostředkem za olovo, které je součástí letovacích slitin, má být

bezolovnatá letovací slitina (pájka) jako například SnCuAg nebo epoxidové pryskyřice a stříbro, což jsou elektricky vodivá lepidla. Těkavé organické látky, které jsou součástí tavidel, mají být nahrazeny tavidly, které po montáži nevyžadují mytí desek. Halogenidy se v deskách používají jako zpomalovače hoření. Náhradním prostředkem za halogenidy by měla být epoxidová pryskyřice upravená dusíkem, fosforem a samozhášivými polymery. (Brožová a kol., 2014)

Nakládání s deskami plošných spojů

Desky obsahují barevné a drahé kovy, které je vhodné zpětně získat. Při recyklaci mobilních desek s plošnými spoji se z drahých kovů obnovuje zejména zlato a stříbro.

Před recyklací desek plošných spojů dochází k odstranění elektronických součástí a následně může být použita metoda mechanického odstranění. Dalším technologickým postupem je tavení cínových spojů při ohřátí desky topnými tělesy na teplotu 350 °C až 400 °C. Následně je použito řezání desek plošných spojů, které se umístí do upínacího rámu, kde se odřezávají pilou. Dalším postupem je drcení desek plošných spojů podle konkrétních požadavků na zrnitost drceného materiálu. Další technologický postup je separace materiálů z drti. (Junga, 2015)

4.2.3 Akumulátory

Mobilní telefony obsahují akumulátory, označované někdy i jako sekundární články, které lze opakovaně nabíjet. Patří do kategorie speciálních akumulátorů a jsou konstruovány podle typu elektrozařízení. Dobíjecí akumulátory mají omezenou životnost a je to nejvíce vyměňovaná komponenta zejména přenosných elektrozařízení.

Podle zákona o odpadech jsou akumulátory vybranými druhy výrobků. Přenosné mobilní akumulátory jsou od konečných uživatelů zpětně odebírány k dalšímu zpracování.

V mobilních telefonech se nejvíce používají lithium-iontové a lithium-polymerové akumulátory. V minulosti používané nikl-kadmiové a nikl-metalhydridové akumulátory mají velmi škodlivé působení na životní prostředí. (Brožová a kol., 2014)

Nakládání s akumulátory

Před recyklačním procesem se akumulátory oddělují od mobilního telefonu a jsou rozděleny podle typů. Akumulátory obsahují kovy, které se znovu získávají a vyrábějí se z nich nové výrobky.

Recyklační postup se liší v závislosti na typu akumulátoru. Kizlink (2014) uvádí dvě metody recyklace akumulátorů, mezi nimiž je zahrnuta metoda od firmy SONY.

Prvním recyklačním postupem dochází nejprve k třídění akumulátorů podle typu a velikosti akumulátoru. Následuje kontrola článku, odstranění obalu, chlazení akumulátoru, neutralizace elektrolytu roztokem NaOH, hrubé drcení článků ($-196\text{ }^{\circ}\text{C}$), odstranění vodíku, zachytávání kyselých plynů, neutralizace plynů, jemné drcení článků, feromagnetická separace hrubé frakce a separace jemné frakce, vysrážení lithia do roztoku uhličitanu lithného v čistotě dosahující přes 95 %. Při procesu recyklace firmy SONY jsou články spékané v peci za účelem odstranění elektrolytu. Lithium, organické složky a fluoridy přecházejí do plynné fáze a jsou dočištěvány v pračce plynů. Kovonosný zbytek je louhován a dochází k získání kobaltu v čistotě dosahující přes 99 %. (Kizlink, 2014)

4.2.4 Plastové části telefonů

Největší podíl použitého materiálu na elektronice tvoří polymery. Odhaduje se, že v mobilních telefonech je obsaženo 30 až 40 % polymeru. Nejčastěji se vyskytující plasty jsou ABS, PVC a PMMA, jejichž celkový podíl je 20 %. Na výrobu mobilních telefonů se používají termoplasty jako polykarbonát (PC) a akrylonitril butadien styren (ABS) nebo jejich kombinace. Tyto plasty obsahují sloučeniny bromu jako zpomalovače hoření. (Brožová a kol, 2014, Maragkos a kol., 2013)

Nakládání s plasty

Elektrozařízení zahrnuje různé druhy plastů, které mohou obsahovat zpomalovače hoření (retardéry hoření). Tyto přísady, které zpomalují hoření, mají vliv na tečení plastů, čímž způsobují problémy při jejich recyklaci. Z tohoto důvodu bývají plasty ukládány na skládky nebo jsou spalovány.

4.3 Způsob nakládání s mobilními telefony

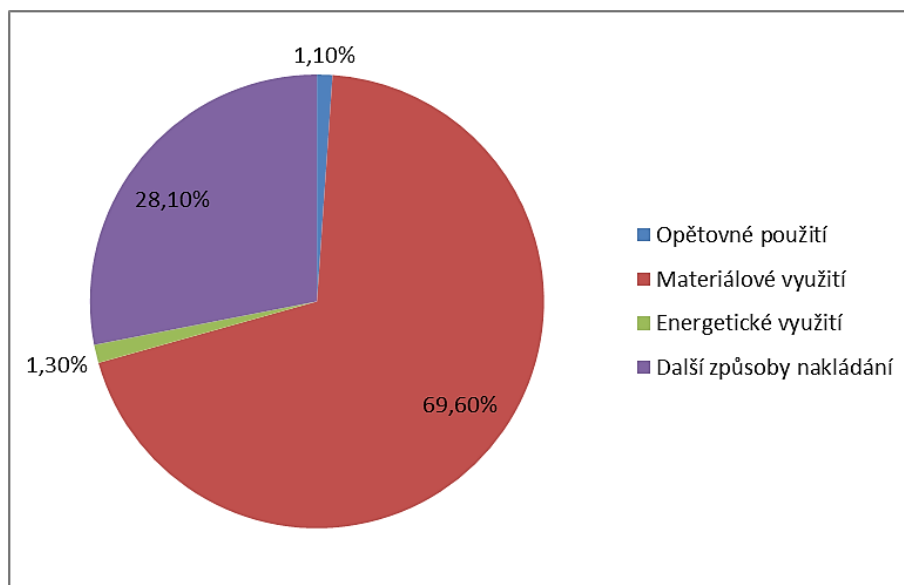
Vybrané výrobky, zejména elektrozařízení obsahuje látky, které jsou nebezpečné pro životní prostředí a jsou dobře znovu využitelné, proto nemohou být součástí komunálního odpadu. (Kuraš, 2014).

Podle zákona o odpadech je výrobce elektrozařízení povinen vytvořit systém, jak pro zpracování, tak i pro využívání elektroodpadu. Využití elektroodpadu musí navazovat na zpětný odběr elektrozařízení nebo oddělený sběr elektroodpadu. Odebraná a sebraná elektrozařízení se musí přednostně opětovně použít jako celek, ještě před předáním zpracovateli. Opětovně je možno použít výhradně elektrozařízení nebo jejich komponenty, které vyhovují požadavkům příslušných právních předpisů. Výrobce elektrozařízení je povinen vytvořit systém pro zpracování, využívání a materiálové využívání elektroodpadu. (Junga a kol., 2015)

Složení elektroodpadu se neustále mění, jsou kladeny větší požadavky na dělení jednotlivých frakcí. Elektroodpad je svým materiálovým složením vysoce různorodý. Drcením dochází ke zmenšování velikosti odpadů. Rozdrcený odpad se snadněji odděluje na jednotlivé látkové druhy. Následně se přepracují pro další zpracování nebo využijí v lisované formě. (Filip, 2002)

Cílem zpracování je separace látky z elektroodpadu a umožnění jejího využití. V rámci tohoto druhu odpadu se jedná o následující postupy k získávání kovů. Jedná se o demontáž a separaci, při kterých jsou demontovány součásti pro opětovné použití, nebezpečné složky, složky určené k recyklaci a části určené k navazující demontáži jako jsou desky s plošnými spoji, kabely a obrazovky. Následně dochází k úpravě tvaru a velikosti stříháním, drcením, tříděním a separací před dalším jeho využitím nebo odstraněním. K získávání látek se využívají chemické postupy a nevyužitelné části jsou skládkovány. V současné době jsou získávány ušlechtilé kovy a jejich slitiny, některé polovodiče, sklo a plasty. (MŽP, 2014)

Graf 2 znázorňuje vysokou míru materiálového využití všech skupin elektrozařízení v České republice. Ze všech způsobů nakládání bylo nejčastějším způsobem využití elektroodpadu a elektrozařízení v roce 2015 materiálové využití, které tvořilo 69,60 % (Graf). Přičemž se opětovně použilo 1,10 %. Celkově bylo v roce 2015 nakládáno se 72 985 tun zpětně odebraného elektrozařízení, což je o 13 727 tun více oproti roku 2014, ve kterém bylo zpracováno 59 258 tun zařízení. (MŽP, 2015)



Graf 2 Způsob nakládání s elektrozařízením v roce 2015 pro ČR (MŽP, 2015)

Za problematickou záležitost lze považovat nelegální demontáž, ukládání malých zařízení na černé skládky odpadů, výskyt elektroodpadu v objemných odpadech, ale zejména vývoz odpadního elektrozařízení do zemí třetího světa. Směrnice 2012/19/EU se těmito problémy zabývá a snaží se je vyřešit stanovením minimálních podmínek pro přepravu elektrozařízení, zejména prokázáním, že zařízení není odpadem. (MŽP, 2014)

4.3.1 Recyklace mobilních telefonů

Průměrná doba životnosti mobilního telefonu se ve většině zemí snížila na méně než dva roky. Proto je velmi důležité recyklovat materiály a komponenty mobilního telefonu, který je z 90 % recyklovatelný. Hlavním významem recyklace mobilních telefonů je cenným zdrojem druhotných surovin. Množství tohoto druhu elektroodpadu může být sníženo jejich obnovením, modernizací či znovupoužitím. Všechny materiály z tohoto druhu odpadu, jako jsou polymery, kovy a sklo mohou být při vysokém výnosu účinně recyklovány. Vlastnosti znovupoužitých materiálů jsou téměř podobné přírodním surovinám. (Sarath a kol., 2015)

Primární suroviny pro získávání ušlechtilých kovů se v České republice netěží, proto jsou mobilní telefony cenným zdrojem druhotných surovin. Druhotné suroviny se získávají recyklací. Příkladem je mobilní telefon, který obsahuje 0,0034 g zlata. Těžbou tohoto množství vzniká víc než 100 kg odpadu. V roce 2010 Čína zavedla omezení vývozu drahých kovů. Čína spolu s dalšími zeměmi má více než 90 % zásob kovů. Čína je hlavním producentem Sb, Be, Ga, Ge, In, Mg atd. Z tohoto důvodu

je vhodné zvyšovat recyklaci kovů a tím se může snížit riziko nepřístupnosti přírodních surovin. Zásoby v ČR nejsou, ale vyskytují se zde potenciální zdroje tohoto kovu. (Brožová a kol., 2014)

Celosvětový prodej mobilních telefonů činil 1,42 miliardy kusů. Životní cyklus nastává od těžby surovin, výrobou, samotným užíváním až po odstranění telefonu. Těžba surovin, která je nezbytná pro výrobu telefonů způsobuje negativní dopad na životní prostředí v mnoha zemích. Příkladem může být těžba platiny, která je z 60 % těžena v jihoafrických dolech. Těžby cínu a niklu za sebou zanechává zničené vodní ekosystémy. K získávání zlata se používají vysoce toxické látky jako kyanid, olovo nebo rtuť. Z koltanu se získává tantal, s největší zásobou 80 % v Demokratické republice Kongo. Drtivá většina tohoto kovu je těžena a vyvážena nelegální cestou do Keni, kde se prodává západním firmám. Je důležitou součástí mikročipů. (Sedmá generace, 2016)

V České republice se k recyklaci dostane pouze 2 % mobilních telefonů. Podle odhadů se v domácnostech vyskytuje 8 miliónů nepoužívaných mobilních telefonů. ASEKOL tvrdí, že pokud by všechny mobilní telefony byly recyklovány, nemuselo by se těžít 2 700 kg stříbra, 360 kg zlata, 152 kg palladia a 8 kg platiny. (ASEKOL, 2011, Brožová a kol., 2014)

Prvním krokem recyklačního procesu je vyjmutí akumulátorů. Telefony se následně drtí a oddělují se z nich kovy a plasty. Vyseparované kovy se rafinují a zpracovávají v hutnictví. Největší zájem je o měď a drahé kovy. Plasty jsou znečištěny materiály a obtížně se u nich provádí materiálová recyklace. Materiály způsobují problémy v zařízeních určené na lití a tváření plastů. Proto nelze plasty znovu použít. Plasty se využívají zejména energeticky jako přídavné palivo v průběhu zpětného získávání kovů. Kovové součástky, od kterých nelze odstranit plast, jsou bez problému recyklovatelné. (Odpady, 2002, Brožová a kol., 2014)

4.3.2 Opětovné použití mobilních telefonů

Opětovné použití elektrozařízení je vhodný způsob, jak prodloužit životnost a snížit dopad na životní prostředí. Jestliže se nemůže celý výrobek znovu použít, mohou se použít alespoň jejich součásti. Vzhledem k tomu, že mobilní telefony obsahují kvalitní složky, mohou být funkční i po ukončení životnosti telefonu. Opětovně použít

lze jednotlivé komponenty, materiály nebo celý výrobek. Hlavním důvodem jejich opětovného použití je technický život, který dosahuje až 10 let. Opětovné použití začíná tříděním na výrobky, které jsou opětovně použitelné a které jsou určeny k recyklaci. Rozsah jejich použití závisí na vzhledu a funkčním stavu. Z větší části se opětovně použitelné telefony z Evropy dostávají do Asie, Afriky a výhodní Evropy. Míra opětovného použití u mobilních telefonů pohybuje okolo 7 %. (Třetí ruka, 2009, Sawanishi a kol., 2015)

MŽP v programu předcházení vzniku odpadů (2014) tvrdí, že podporu pro opětovné používání nebo opravy vhodných vyřazených výrobků nebo jejich složek, může zajistit prostřednictvím využívání vzdělávacích, ekonomických, logistických nebo jiných opatření. Například podporou nebo zřízením akreditovaných středisek pro opravy i opětovné použití a sběrných sítí, zejména v hustě obydlených oblastech. Cílem je úspora energie, přírodních zdrojů a snížení množství odpadu.

4.3.3 Další způsob nakládání

Na skládky je každoročně celosvětově ukládáno 20 až 50 milionů tun elektroodpadu. Odhaduje se, že 70 % těžkých kovů na skládkách pochází z elektroodpadu. Při procesu skládkování se těžké kovy neodstraní a mohou odtékat spolu s průsakovými vodami. Průsakové vody ze skládek obsahují vysoké koncentrace těžkých kovů, organické hmoty a další nebezpečné látky. Při poruše těsnění skládky ihned dochází ke znečištění půdy. Modelově bylo dokázáno, že za 30 let od začátku skládkování dojde k prosáknutí průsakové vody ze skládky. (Odpady, 2016, Kizlink, 2014)

Některé obce pro zpracování odpadů využívají spalování odpadů. V průběhu spalovacího procesu dochází k uvolňování určitého množství toxických látek. Zejména při spalování LCD displejů, které obsahují tekuté krystaly, se uvolňují toxické polycyklické aromatické uhlovodíky, halogeny, furany a dioxiny. (Třetí ruka, 2009, Kizlink, 2014)

CÍL PRÁCE

Cílem diplomové práce je zjistit materiálového složení v jednotlivých zkoumaných mobilních telefonech a jejich vzájemné porovnání mezi sebou. Dále zjistit množství těžkých a drahých kovů v dotykových mobilních displejích. Porovnat technologii TFT LCD a AMOLED, porovnat jednotlivé značky mezi sebou.

5 MATERIÁL A METODIKA

Tato kapitola se zabývá potřebným materiálem pro uskutečnění experimentů. Metodika popisuje konkrétní postupy pro experiment materiálového složení mobilních telefonů a pro experiment k zjišťování obsahu kovů v dotykových displejích.

5.1 Materiál

Literární příprava materiálu pro danou část experimentu je tvořena z volně dostupných informací od jednotlivých výrobců mobilních telefonů. Celkem bylo pro experiment získáno a použito 15 mobilních telefonů různých značek, které obsahovaly dotykové displeje. Popis jednotlivých typů telefonů je popsán níže. Velikost displeje je určována uhlopříčkou udávanou v anglickém palci ("), jedná se o anglosaskou jednotku s hodnotou 25,4 mm.

5.1.1 Základní technické specifikace zkoumaných mobilních telefonů

Telefon č. 1 - Samsung Galaxy Ace 2 (GT-I8160P)

Výrobce: Samsung

Dostupný od: 2012

Rozměry (výška × šířka × hloubka) : 118,3 × 62,3 × 10,5 mm

Hmotnost: 118,5 g

Displej: Technologie – TFT LCD

Velikost – 3,8"

Zdroj informací – SAMSUNG (2016)

Telefon č. 2 - Samsung Galaxy Trend (S7560)

Výrobce: Samsung

Dostupný od: 2012

Rozměry (výška × šířka × hloubka): 121,5 × 63,1 × 10,57 mm

Hmotnost: 118,0 g

Displej: Technologie – TFT LCD

Velikost – 4,0"

Zdroj informací – SAMSUNG (2016)

Telefon č. 3 - Nokia 610

Výrobce: Nokia

Dostupnost od: 2012

Rozměry (výška × šířka × hloubka): 119 × 62 × 12 mm

Hmotnost: 131,5 g

Displej: Technologie – TFT LCD

Velikost – 3,7“

Zdroj informací – HEUREKA (2017)

Telefon č. 4 – Samsung Galaxy S II (GT-I9100)

Výrobce: Samsung

Dostupný od: 2011

Rozměry (výška × šířka × hloubka): 125,3 × 66,1 × 8,49 mm

Hmotnost: 116 g

Displej: Technologie – Super AMOLED Plus

Velikost – 4,27“

Zdroj informací – SAMSUNG (2016)

Telefon č. 5 - HTC Desire

Výrobce: HTC Corporation

Dostupný od: 2010

Rozměry (výška × šířka × hloubka): 119 × 60 × 11,9 mm

Hmotnost: 135 g

Displej: Technologie – AMOLED

Velikost – 3,7“

Zdroj informací – HEUREKA (2017)

Telefon č. 6 – Prestigio 4044 DUO

Výrobce: Prestigio

Dostupný od: 2013

Rozměry (výška × šířka × hloubka): 125 × 64 × 10,4 mm

Hmotnost: 124 g

Displej: Technologie – TFT LCD

Velikost – 4“

Zdroj informací – PRESTIGIO (2017)

Telefon č. 7 – Sony Xperia Go ST27i

Výrobce: SONY

Dostupný od: 2012

Rozměry (výška × šířka × hloubka): 111 × 60,3 × 9,8 mm

Hmotnost: 110 g

Displej: Technologie – TFT LCD

Velikost – 3,5“

Zdroj informací – O2 (2017)

Telefon č. 8 – Evolve FX420

Výrobce: Evolveo

Dostupný od: 2012

Rozměry (výška × šířka × hloubka): 67 × 123 × 11 mm

Hmotnost: 141 g

Displej: Technologie – TFT LCD

Velikost – 4,3“

Zdroj informací – CZC (2016)

Telefon č. 9 – Prestigio PAP 4020 DUO

Výrobce: Prestigio

Model: MultiPhone 4020 DUO

Dostupný od: 2012

Rozměry (výška × šířka × hloubka): 124 × 64 × 11,7 mm

Hmotnost: 120 g

Displej: Technologie – TFT LCD

Velikost – 4“

Zdroj informací – TSBOHEMIA (2017)

Telefon č. 10 – Apple iPhone A1241

Výrobce: Apple

Dostupný od: 2008

Rozměry (výška × šířka × hloubka): 116 × 62 × 12 mm

Hmotnost: 133g

Displej: Technologie – TFT LCD

Velikost – 3,5“

Zdroj informací – HEUREKA (2017)

Telefon č. 11 – ACER Z200

Výrobce: Acer

Dostupný od: 2014

Rozměry (výška × šířka × hloubka): 126,5 × 65 × 10,3 mm

Hmotnost: 130 g

Displej: Technologie – TFT LCD

Velikost – 4“

Zdroj informací – TSBOHEMIA (2017)

Telefon č. 12 – iPRO S3 pro

Výrobce: iPro

Dostupný od: 2013

Rozměry (výška × šířka × hloubka): 127,1 × 66,6 × 9,5 mm

Hmotnost: 156 g

Displej: Technologie – TFT LCD

Velikost – 4,7“

Zdroj informací – IPROCZECH (2013)

Telefon č. 13 – Samsung Wave (GT S8500)

Výrobce: Samsung

Dostupný od: 2010

Rozměry (výška × šířka × hloubka): 118 × 56 × 10,9 mm

Hmotnost: 118 g

Displej: Technologie – Super AMOLED

Velikost – 3,3“

Zdroj informací – SAMSUNG (2016)

Telefon č. 14 – Sony Ericsson Xperia x10i

Výrobce: Sony Ericsson

Dostupný od: 2010

Rozměry (výška × šířka × hloubka): 119 × 63 × 13 mm

Hmotnost: 135 g

sklo odolné proti poškrábání

Displej: Technologie – TFT LCD

Velikost – 4“

Zdroj informací – HEUREKA (2017)

Telefon č. 15 – Prestigio PAP 5400 DUO

Výrobce: Prestigio

Dostupný od: 2013

Rozměry (výška × šířka × hloubka): 126 × 63,5 × 9,9 mm

Hmotnost: 132 g

Displej: Technologie – TFT LCD

Velikost – 4“

Zdroj informací – PRESTIGIO (2017)

5.2 Metodika

Pro experiment byly získány mobilní telefony od společností zabývajících se zpětným odběrem elektrozařízení. Získané telefony se roztřídí a vybere se 15 velikostně podobných typů telefonů.

5.2.1 Zjišťování materiálového složení mobilních telefonů

a) Dokumentace mobilního telefonu

Telefon se vyfotí a zjistí se jeho celková hmotnost. Získané hmotnostní hodnoty jsou zaznamenány. Pro identifikaci je každý telefon očíslován. Hmotnost telefonů u některých telefonů je orientační z důvodu chybějícího zadního krytu anebo akumulátoru a bude doplněna z dostupných informací od výrobců.

b) Rozebírání mobilního telefonu

Po zdokumentování je telefon postupně ručně rozebrán s použitím drobného ručního nářadí. Nejprve je oddělen zadní kryt, odšroubován a vyjmut mezidíl, deska s plošnými spoji, displej a horní ochranné sklo. Rozebírání se může u telefonů lišit z důvodu jiné konstrukce. Telefon je rozebrán na jednotlivé komponenty. Příklad rozebraného telefonu je uveden v příloze 7.

c) Fotodokumentace a zjištění hmotnosti jednotlivých komponentů

Součástky mobilního telefonu jsou pokládány na pracovní stůl, kde jsou fotograficky zdokumentovány a zjištěna hmotnost u každého komponentu.

d) Rozdělení součástek do skupin podle materiálu

Součástky jsou rozděleny podle materiálu na plasty, kov, smíšený materiál, elektrické součástky, sklo a akumulátor. Do skupiny smíšený materiál jsou zahrnuty součástky, které jsou tvořeny kombinací plastových a kovových částí, které jsou vzájemně neoddělitelné.

e) Uložení komponentů podle materiálu do označených polyethylenových obalů zvlášť pro daný telefon

f) Zaznamenání a shromáždění dat

5.2.2 Měření obsahu vybraných kovů

Další praktická část experimentu se zabývá analýzou obsahu kovů v dotykových displejích a krycích sklech vybraných mobilních telefonů metodou rentgenové fluorescenční spektrometrie (XRF). Měření vzorků je prováděno pomocí dvou přenosných spektrometrů od společnosti DELTA, BAS Rudice s.r.o.

Rentgenová fluorescenční spektrometrie (XRF)

XRF spektrometrie určuje elementární složení materiálu. Pro experimentální část byly použity přenosné (ruční) rentgenové spektrometry, které pracují na principu energiově disperzní X-ray fluorescenci (ED-XRF). Základním principem je vzájemné působení rentgenového záření se vzorkem, kde záření vyzařuje rentgenka. Přítomný prvek je zjišťován jeho charakteristickou emisí záření energií. Vyzářená energie je detekována na detektoru. (Bas Rudice s.r.o., 2017)

Postup experimentálního měření

Přenosný spektrometr se přední částí přitiskne ke zkoumanému vzorku dotykového displeje mobilního telefonu. Přístroj je nastaven na prvkovou analýzu kovů. Výsledky měření jsou zobrazeny v ppm na displeji spektrometru. Každý naměřený prvek má odlišnou směrodatnou odchylku, například zirkonium hliník (Al) $70\ 277 \pm 507$ ppm, hořčík (Mg) $44\ 526 \pm 8\ 454$ ppm.

Spektrometry DELTA Handheld, BAS Rudice s.r.o. (2017)

Základní technické specifikace od společnosti BAS, Rudice s.r.o.:

- Rozměr: 260 mm × 240 mm × 90 mm
- Provozní teploty: – 10 °C až 50 °C
- Hmotnost: 1,5 kg
- Detektor záření: Velkoplošný SDD detektor (Silicon Drift Detector) je elektricky chlazený detektor s vysokou citlivostí včetně lehkých prvků nebo SiPIN (Silicon PIN), kde není požadavek na analýzu lehkých prvků.
- Průmyslový displej: dotykový displej v rozměrech 57 mm x 73 mm, s technologií Blanview, 32 bitů
- Napájení: Li-ion baterie
- Zdroj záření: Robustní rentgenka, maximální napětí 40kV, budící proud až 200uA. Systém předřadné filtrace se 6 filtry

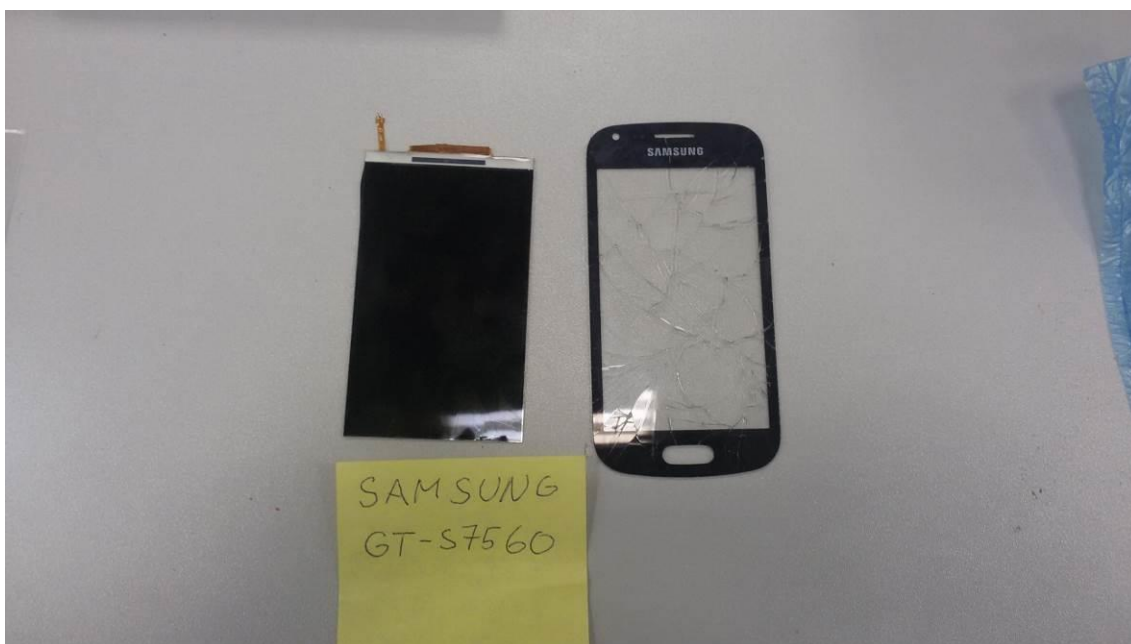
Přístroje jsou plně kalibrovány pro všechny uvažované prvky a poskytují přesné výsledky. Jsou dodávány s databází materiálů s předinstalovanými normami pro porovnání naměřených hodnot. Mezi standardní příslušenství k přístroji patří kalibrační materiál nazývaný standardizační kupon. (Bas Rudice, 2017)

Odlišnost ve výsledcích měření je způsobena rozsahem analyzovaných prvků, citlivostí přístroje a možnostmi kalibrace. Dále první měření může být ovlivněno místem měření, které se uskutečnilo za technických podmínek a druhé měření za laboratorních podmínek. U obou měření se vzorky proměřovaly přístrojem z obou stran vzorku displeje a krycího skla. U prvního přístroje je rozsah analyzovaných prvků Ag, Au, Bi, Co, Cr, In, Mn, Mo, Nb, Pb, Pd, Re, Sn a Zr. Druhý spektrometr analyzoval zejména prvky Mg, Al, Si, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Cu, Ni, Zr, Zn, Mo, W, Cd, Hg, Ag, Au, U.

Hlavním cílem XRF analýzy je analýza množství kovů v dotykových displejích mobilních telefonů. Hlavním důvodem analýzy je toxicita kovů pro životní prostředí a lidské zdraví. Kovy jsou při špatné manipulaci, nakládání a při úniku nebezpečné pro okolní prostředí, ale také pro lidské zdraví. Chtěla bych poukázat na výskyt a množství těchto kovů v dotykových displejích mobilních telefonů, protože zejména v ČR zatím nebylo nalezeno žádné využití displejů a proto jsou ukládány na skládkách odpadů nebo spalovány ve spalovnách.



Obr. 3 Ruční rentgenový fluorescenční spektrometr (XRF). (Autor, 2017)



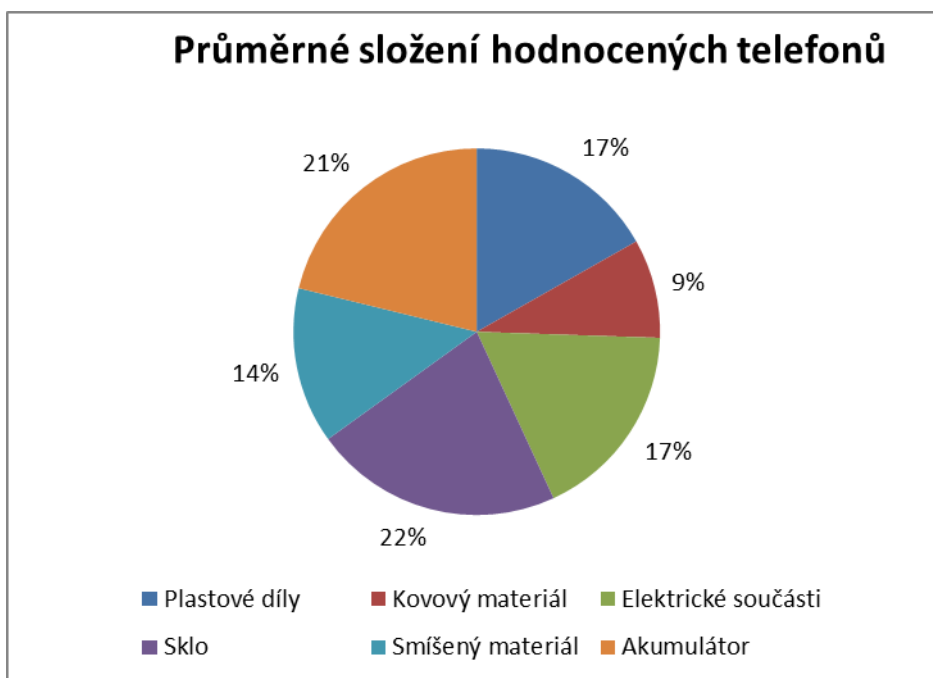
Obr. 4 Ukázka měřených vzorků získaných z materiálového složení. Po levé straně dotykový displej a po pravé horní krycí sklo. (Autor, 2017)

6 VÝSLEDKY

Zjištěné výsledky jsou popsány v následujících podkapitolách, které jsou dány přesným metodickým postupem, který byl zvolen pro jednotlivé experimenty.

6.1 Materiálové složení hodnocených telefonů

Mobilní telefony s dotykovými displeji byly rozebrány na jednotlivé komponenty. Po shromáždění všech vstupních dat o hmotnosti komponentů bylo vyhodnoceno celkové průměrné materiálové složení hodnocených telefonů znázorněno v grafu 3. Celkové shrnutí výsledků materiálového složení všech hodnocených telefonů je uvedeno v příloze 1.



Graf 3 Průměrné složení hodnocených telefonů v hm %. (Autor, 2017)

Z průměrného složení hodnocených telefonů je zřejmé, že největší hmotnostní podíl tvoří sklo 22 hm. % z důvodů velikosti mobilních displejů. Akumulátor je druhým nejvíce zastoupeným komponentem v množství 21 hm. %, 17 hm. % tvoří elektrické součástky a také 17 hm. % plastové díly. Zbývající část tvoří součástky ze smíšeného materiálu (plastu a kovu) 14 hm. %, a z 9 hm. % součástky z kovového materiálu (viz. Graf 3).

Každý mobilní telefon je svým složením rozdílný, což může být způsobeno odlišným výrobcem, rokem výroby a technologií. Příkladem může být velikost mobilních telefonů, zejména displejů, které se zvětšují a v současné době se do mobilních telefonů montují ve velikostním průměru 4“. Množství součástí se oproti starším modelům snížilo. Komponenty, které se v době provozu mobilních telefonů nejvíce nahrazují, jsou akumulátory a displeje, z důvodu jejich životnosti a mechanického poškození.

Volba designu může ovlivňovat výrobek na konci jeho životnosti. Měl by obsahovat co nejméně odlišné materiály pro snazší recyklaci. V mobilních telefonech je převážně použit technický plast. Použití plastů snižuje náklady na výrobu oproti kovu, což se může odrazit i na konečné ceně mobilního telefonu. Závisí na preferencích výrobce.

Z naměřených hodnot a grafického znázornění vyplývá, že největší celkovou hmotnost ze všech zkoumaných telefonů měl telefon č. 12 (iProS3pro). Jeho celková hmotnost telefonu je způsobena největším podílem skla, který činí 40,79 g a smíšeného materiálu 32,45 g. Hmotnost může být způsobena velikostí telefonu a zvoleným typem materiálu. Výrobce může používat odlišnější materiál oproti světovým výrobcům.

Nejmenší celkovou hmotnost měl Sony Xperia s hmotností 106,27 g. Z hmotnostního hlediska obsahuje nejvíce plastových dílů ze všech telefonů a to 27,61 g, potom smíšený materiál a malé množství kovů. Hmotnost akumulátoru 22,75 g je ovlivněna jeho rozměry.

6.1.1 Sklo

Do skleněných součástí je zahrnuto horní krycí sklo a displej. Z výsledků je patrné, že u všech telefonů tvoří větší hmotnost krycí sklo oproti displeji. Nejvíce ovlivňujícím faktorem je velikost, technologie a hmotnost displeje. Hmotnost skla může ovlivnit celkovou hmotnost telefonu.

Největší podíl skla má telefon č. 12 značky iPro, s velikostí displeje 4,7“ a technologií TFT LCD, který je na trhu dostupný od roku 2013. Celková hmotnost displeje je 50 g, z toho činí hmotnost krycího skla 31,61 g a displeje 9,18 g. Celková hmotnost telefonu je největší z hodnocených telefonů.

Nejmenší množství skla měl telefon č. 13 značky Samsung, s velikostí displeje 3,3“ a výrobní technologií Super AMOLED, což může mít vliv v odlišném složení displeje

oproti technologii TFT LCD. Celková hmotnost displeje je 17,23 g, z toho činí hmotnost krycího skla 13,46 g a displeje 3,77 g.

6.1.2 Smíšený materiál

Smíšený materiál, který je v případě hodnocených telefonů tvořen kombinací plastu a kovu, nelze jednoduše oddělit a recyklace je obtížnější oproti např. kovovému materiálu.

Největší podíl smíšeného materiálu měly telefony č. 5 a 12 s hodnotou 32 g a telefon č. 11 s hodnotou 30 g. Nejnižší hodnota smíšeného materiálu 10 g je u telefonu č. 13, protože výrobce použil na výrobu telefonu převážně hliníkový materiál.

Smíšený materiál neobsahovaly tři mobilní telefony č. 8, 9, 10. Jedním z nich je telefon č. 10, který využívá oddělený plastový a kovový materiál. Jako spojovací materiál využívá šroubky v největším množství ze všech hodnocených telefonů s počtem 24 kusů. Telefon č. 8, využívá pouze 9 kusů kovových šroubků a dvě kovová těla, která tvoří smíšený materiál s plastem.

6.1.3 Kovový materiál

U každého typu mobilního telefonu je použit kovový materiál, pro spojení součástí, zejména ve formě šroubků a pro zpevnění konstrukce telefonu ve formě kovového těla.

Největší hodnotu má telefon č. 9, což je způsobeno použitím dvou kovových částí mezidílu s celkovou hodnotou 34,15 g. Telefon č. 5 má nejmenší podíl kovových materiálů 0,29 g, což je způsobeno použitím množství spojovacího materiálu 6 kusů kovových šroubků a jedním kovovým tělem. U některých telefonů se vyskytují kovová těla ve dvou kusech.

6.1.4 Elektrické součástky

Všechny mobilní telefony pro svou funkčnost musí obsahovat elektrické součástky, které se vyskytují zejména na základní desce.

Telefon č. 10 obsahoval největší podíl ze všech telefonů, tak i ze svého složení v hodnotě 37,21 g, což může být způsobeno rokem výroby (2008) a hlavně typem výrobce (odlišná technologie výroby základní desky). Nejméně obsažených elektrických součástek bylo v mobilním telefonu č. 11, který je dostupný od roku 2014.

Rozdíl může být způsoben tím, že se technologie vyvíjí a elektrické součástky se miniaturizují.

Z výsledků je zřejmé, že mobilní telefony mají heterogenní materiálové složení v závislosti na typu výrobce, roku výroby. Volba materiálu závisí na výrobcu a typu mobilního telefonu. Menší velikost dotykového displeje v mobilních telefonech neznámá, že má nižší obsah kovu oproti druhým výrobkům s většími displeji.

6.2 Analýza vybraných kovů v dotykových displejích mobilních telefonů a v jejich horních krycích sklech

Stanovení obsahu kovů v dotykových displejích mobilních telefonů a horních krycích sklech bylo provedeno metodou rentgenové fluorescenční spektrometrie (XRF). Ke zjištění prvkového složení displejů byly použity dva identické spektrometry od společnosti BAS Rudice s.r.o. Souhrnné výsledky jsou znázorněny v tabulkách příloze 3 a 4.

Tabulka 1 Typy mobilních telefonů s výrobní technologií displejů. Informace v tabulce jsou deklarovány výrobcem. (Autor, 2017)

Vzorek	Typ telefonu	Výrobní technologie displeje
č. 1	Samsung GT-I8160P (Galaxy Ace 2)	TFT LCD
č. 2	Samsung GT-S7560 (Galaxy Trend)	TFT LCD
č. 3	Nokia Lumia 610	TFT LCD
č. 4	Samsung GT-I9100 (Galaxy S2)	Super AMOLED plus
č. 5	HTC PB99200 (Desire)	AMOLED
č. 6	Prestigio PAP 4044	TFT LCD
č. 7	Sony Xperia Go ST27i	TFT LCD
č. 8	Evolve FX420	TFT LCD
č. 9	Prestigio PAP 4020	TFT LCD
č. 10	Apple iPhone A1241	TFT LCD
č. 11	Acer Z200	TFT LCD
č. 12	iPro-S3 pro	TFT LCD
č. 13	Samsung GT-S8500	Super AMOLED
č. 14	Sony Ericsson Xperia x10i	TFT LCD
č. 15	Prestigio PAP 5400	TFT LCD

6.2.1 Experimentální měření 1

Z výsledků bylo zjištěno, že zkoumané displeje v mobilních telefonech zahrnují prvky Ag, Au, In, Co, Cr, Mn, Mo, Nb, Pb, Pd, Re, Sn, Bi, Zr. Zastoupení kovů v displejích může být odlišný vlivem výrobce, roku výroby a použitou výrobní technologií displeje. Zjištěné výsledky z experimentální analýzy jsou prezentovány v tabulkách příloze 3. Vlastnosti jednotlivých kovů jsou uvedeny v příloze 2.

Rentgenová fluorescenční spektrometrie ukazuje, že TFT LCD displeje obsahují hlavně Zr, In a Nb. Z výsledků je patrné, že dotykové displeje zahrnují drahé a těžké kovy. Hladina koncentrace zirkonia (Zr) v dotykových displejích ve zkoumaných vzorcích dosahuje nejvyšší hodnoty všech sledovaných kovů. Je jediným prvkem, který je zastoupen ve všech typech telefonů bez rozdílu ve výrobní technologii. Prvky se vyskytují s odlišnou hodnotou a proměnlivým zastoupením nebo nebyly analyzovány. Ušlechtilý kov paladium je naměřen ve všech vzorcích displejů s nejvyšší hodnotou 730 ppm u vzorku telefonu č. 9 s výjimkou telefonu č. 12, kde nebyl zjištěn. Oproti tomu stříbro bylo analyzováno ve čtyřech zkoumaných vzorcích s nevyšší hodnotou 1830 ppm u tel. č. 4 s technologií displeje Super AMOLED Plus. Stejná hodnota 410 ppm je zjištěna u vzorku č. 9 a 15, vzorky displeje pocházejí od stejného výrobce Prestigio.

Prvek zlato nebylo zjištěno u vzorků č. 6, 9 a 15, vzorky displeje pocházejí od stejného značky Prestigio. U vzorků od značky Acer (vzorek č. 11), Evolve (vzorek č. 8) a IproS3pro (vzorek č. 12) nebyla zjištěna přítomnost zlata ani stříbra. Vzorky č. 6, 9 a 15 lze podle charakteristického složení identifikovat jako výrobky jedné značky Prestigio. Nižší koncentrace kovů byly nalezeny ve vzorcích č. 8 a 6 s technologií displejů TFT. Vyznačují se stejným zastoupením prvků, u kterých nebyla zjištěna přítomnost těžkých kovů Bi, Co, Cr, Mn a Pb. U vzorků č. 1 a 2 je stejné zastoupení prvků, zejména těžkých kovů, vzorky lze identifikovat jako výrobky značky Samsung s technologií displeje TFT LCD. V displejích u těchto vzorků nebyla zjištěna přítomnost Ag, Bi, Co, Pb a Re.

Chemický prvek stříbro se vyskytuje u čtyř vzorků bez ohledu na typ technologie displeje značky Prestigio (vzorek č. 9, 15) se stejně naměřenou hodnotou 410 ppm a značky Samsung (vzorek č. 4, 13). Lze říci, že se stříbro vyskytuje jak v TFT LCD, tak i v AMOLED technologii displejů. Největší množství stříbra obsahuje vzorek č. 4 s hodnotou 1830 ppm s technologií Super AMOLED Plus. Vzorek č. 4 a 13 obsahují

zlato i stříbro u stejné značky s technologií AMOLED. Zlato se všeobecně vyskytuje v 9 vzorcích displejů.

Ve vzorcích č. 3 značky Nokia s technologií TFT LCD a č. 4 značky Samsung s technologií Super AMOLED Plus byla zjištěna přítomnost všech sledovaných těžkých kovů.

Ve vzorcích č. 1 a 2 značky Samsung s technologií TFT LCD přítomnost olova nebyla zjištěna, ale u stejné značky technologie AMOLED bylo olovo zastoupeno. Lze si povšimnout, že u stejné značky Samsung hraje významnou roli výrobní technologie displejů. U druhých TFT LCD displejů spíše závisí na výrobcí.

Olovo neobsahují vzorky značky Prestigio (vzorky č. 6, 9 a 15), následně Samsung s technologií TFT LCD (vzorky č. 1 a 2), Evolve (vzorek č. 8) a Acer (vzorek č. 11). Lze konstatovat, že u stejné značky Samsung hraje významnou roli výrobní technologie displejů. U druhých TFT LCD displejů spíše závisí na výrobcí. Displej vzorku č. 12 dosahuje nejvyšší koncentrace olova 560 ppm a nejnižší hodnota 160 ppm v displeji vzorku č. 3. Obecně displeje s technologií AMOLED obsahují vyšší koncentraci olova.

Byl zjištěn výskyt prvku indium v displejích z důvodu, že displeje v rámci svého složení obsahují vrstvu oxidu india a cínu tzv. ITO vrstvu (směsný oxid $\text{In}_2\text{O}_3 \cdot \text{SnO}_2$) sloužící pro funkčnost dotykového displeje. Nejvyšší množství 1390 ppm bylo zjištěno v dotykovém displeji vzorku č. 10 značky Apple. Nejnižší množství 310 ppm bylo zjištěno ve vzorku č. 3 značky Nokia. U vzorku č. 4, 5 a 13 s technologií AMOLED přítomnost india v displeji nebyla zjištěna. Tento typ displejů se vyznačuje odlišným složením zejména vrstvy ITO, která je umístěna pod horním krycím sklem. Proto byla u všech typů AMOLEDU přítomnost india naměřena ve vzorcích horního krycího skla (viz horní krycí sklo). Cín je obsažen ve všech vzorcích s výjimkou vzorku displeje č. 5, 7, 10, 13 a 14.

Nejvyšší naměřené procentuální zastoupení prvků obsahoval vzorek displeje č. 4, kromě prvků Fe, In, Nb, W a Zn, které nebyly zachyceny. Vzorek č. 4 s technologií Super AMOLED Plus jako jediný obsahuje prvek nikl. Celkově nižší procentuální zastoupení kovů bylo nalezeno ve vzorcích s TFT technologií od značek Samsung (vzorky č. 1, 2.) a Prestigio (vzorek č. 6), Evolve (vzorek č. 8) a IproS3 (vzorek č. 12).

Kobalt byl ze všech vzorků značky Samsung obsažen pouze ve vzorku č. 4 označován jako Super AMOLED Plus v hodnotě 200 ppm. Dalším zjištěný prvek niob se svou vodivou vlastností dosahuje nejvyšší hodnotu 140 ppm u vzorku č. 15. Z výsledků je patrné, že tento prvek není zastoupen ve vzorku č. 4 a 13, vzhledem k technologii Super AMOLED od značky Samsung. Oproti tomu u stejné značky Samsung vzorku č. 1 a 2 s technologií TFT LCD byla zjištěna přítomnost niobu.

Z těžkých kovů byla v dotykových displejích zjištěna přítomnost prvků Bi, Cr, Co, Mn, Cu, Ni, Pb. Lze konstatovat, že všechny vzorky značky Prestigio, Evolve a Acer neobsahují zjištěné zastoupení prvku olova. Což znamená, že olovo nemusí být užito při výrobě displejů. Také Samsung u dvou vzorků č. 1 a 2 s technologií TFT LCD neobsahuje tento prvek, ale u AMOLEDU vzorku č. 4 a 13 jej obsahují. U této značky může hrát významnou roli technologie displeje.

Prvek bismut nebyl zjištěn u TFT LCD značky Samsung, Prestigio, Evolve, Acer a IproS3. Naopak bylo zjištěn u AMOLED vzorku č. 4, 5 a 13, u kterého bylo zjištěno nejvyšší množství 610 ppm.

U chromu si lze povšimnout, že je obsažen ve všech vzorcích až na značku Prestigio (vzorek č. 6, 15), Evolve (vzorek č. 8), IproS3pro (vzorek č. 12), které prvek neobsahují. Lze si povšimnout rozdíl mezi světovými značkami vyšší kvality a na trhu stálejšími výrobci oproti výrobcům, kteří se snaží uvádět na trh dostupnější modely co největšímu počtu uživatelům.

Výskyt prvku rhenium, mangan a molybden je odlišný a liší se dle značky vzorku a použité technologie displeje. V displeji s technologií TFT LCD značky Samsung rhenium není obsaženo, naopak u technologie AMOLEDU se vyskytuje.

Oproti jiným těžkým kovům se nejvíce ve vzorcích vyskytuje mangan a to ve 12 vzorcích. Nejméně se vyskytuje kobalt, který byl zaznamenán v 5 vzorcích. Nejvyšší koncentrace těžkých kovů má vzorek č. 11 značky Acer 8 110 ppm a vzorek č. 10 Apple s hodnotou 3 490 ppm. Nejnižší koncentraci 1090 ppm obsahuje vzorek č. 8 značky Evolve, následně značky Prestigio a Samsung s technologií TFT LCD. Nejmenší zastoupení všech prvků obsahuje vzorek č. 6 značky Prestigio a č. 8 značky Evolve a č. 12 značky iPro. Lze si povšimnout, že technologie AMOLED vyžaduje spoustu těžkých prvků. U značky Nokia a Applu technologie TFT LCD, byla zjištěna vyšší koncentrace těžkých kovů. Není vzorek, který by neobsahoval těžké a ani drahé

kovy. Vysoké množství kovů bylo zjištěno ve vzorku č. 13 a č. 4 od stejné značky Samsung.

Porovnání obsahů kovů v dotykových displejích značky Samsung výrobní technologie TFT LCD a AMOLED (vzorek č. 2 a 13)

Tabulka 2 Porovnání naměřených hodnot ze vzorků č. 2 a 13. (Autor, 2017)

Prvek	Vzorek [ppm]	
	2	13
Ag	<LOD	870
Au	46	330
Bi	<LOD	610
Co	<LOD	<LOD
Cr	180	1000
In	420	<LOD
Mn	180	700
Mo	293	<LOD
Nb	82	<LOD
Pb	<LOD	330
Pd	560	530
Re	<LOD	310
Sn	1180	<LOD
Zr	2070	21700

Tabulkové znázornění ukazuje na rozdíly v obsahu kovů dvou odlišných výrobních technologií od značky Samsung. Displej vzorku č. 2 s technologií TFT LCD obsahuje prvky Au, Cr, In, Mn, Mo, Nb, Pd a Sn. Důležitým poznatkem analýzy je, že nebyl analýzou zjištěn výskyt těžkých kovů Pb, Bi, Re a Co. Prvek Kobalt nebyl zjištěn ani u jednoho vzorku. Prvek indium a cín byl zjištěn u telefonu č. 2 s technologií TFT LCD. Výskyt těchto prvků je způsoben vrstvou směsi oxidu india a cínu (ITO vrstva). U vzorku č. 13 s technologií AMOLED je zjištěno větší procentuální zastoupení kovů. Obsah těžkých kovů u druhého vzorku je poměrně vyšší, zejména se zastoupením Cr s hodnotou 1000 ppm, Bi s hodnotou 610 ppm, Mn s hodnotou 700 ppm, Pb s hodnotou 330 ppm.

Společnými prvky, které se vyskytují v obou typech displejů, jsou Au, Cr, Mn, Pd. Vyšší procentuální zastoupení těchto prvků je ve vzorku č. 13, s výjimkou prvku palladium, které je více obsaženo ve vzorku č. 2. Lze říci, že novější technologie dotykových displejů AMOLED vyžadují vyšší procentuální zastoupení kovů. Proměnlivé zastoupení kovů závisí i na použité výrobní technologii.

Zirkonium jako nejvíce zastoupeným kovem s hodnotou 21 700 ppm u vzorku č. 13. Tento prvek se vyskytuje ve všech typech displejů s proměnlivou hodnotou.

Experimentální měření krycích skel dotykových mobilních telefonů

V této části experimentu se zabývám zjištěnými výsledky z horních krycích skel dotykových displejů, které jsou nedílnou součástí ochrany displejů, zejména před mechanickým poškozením. Výsledky měření jsou uvedeny v příloze 4.

Prvek indium se vyskytuje ve sklech všech hodnocených krycích skel vzorků displejů, s výjimkou vzorku č. 12. Výskyt prvku indium je způsoben vlivem ITO vrstvy pro funkčnost dotykového displeje. Ve vzorcích krycích skel, které pocházejí od displejů s technologií AMOLED je zjištěna stejná hodnota 210 ppm. Prvek zirkonium je zastoupen ve všech vzorcích s nejvyšší hodnotou 10 700 ppm. Prvky molybden, niob a palladium jsou v krycím skle hojně zastoupeny ve většině vzorků. Nejméně vyskytujícími prvky v krycím skle jsou stříbro, zlato, bismut a chrom. Přítomnost prvků zlato, bismut, chrom, olovo a rhenium je zjištěna pouze u krycích skel vzorků č. 4 a 13, které se vyznačují stejnou výrobní technologií a stejné značky Samsung. Horní krycí skla u mobilních telefonů č. 1 a 2 stejné značky mají stejné zastoupení prvků.

Odlišnost složení kovů v horních krycích sklech je závislá na výrobcí a výrobní technologii.

6.2.2 Experimentální měření 2

Podle výsledků jsou základními prvky ve všech dotykových displejích Si, Ca, Ti, Fe, Cu, As, Sr, Mo, Zn, Cu, U. Zjištěné výsledky z experimentální analýzy jsou prezentovány v příloze 5. Vlastnosti jednotlivých kovů jsou uvedeny v příloze 2.

Další zjištěné prvky jsou různorodě zastoupeny nebo nebyly zjištěny. Zastoupení prvků Si a Al je z důvodu, že tvoří základní složkou pro výrobu skla.

Výsledky ukázaly, že hladiny koncentrace křemíku v dotykových displejích ve všech zkoumaných vzorcích dosahuje nejvyšší hodnoty všech sledovaných kovů s nejvyšší zjištěnou hodnotou 385 182 ppm ve vzorku telefonu č. 15. Všeobecně se vyskytuje ve vyšších koncentracích u všech typů dotykových displejů.

Prvek hořčík byl nejvíce zaznamenán u vzorku č. 13 AMOLED v hodnotě 306 831 ppm a 44 526 ppm u vzorku č. 15. Nejméně byl hořčík obsažen ve vzorcích č. 6, 13 a 15. Ve

vzorcích č. 4, 5 a 14 nebyl zjištěn. Dalšími nejvíce zastoupenými prvky u všech telefonů je vápník a hliník.

Titan se vyskytuje ve všech vzorcích, nejméně však u telefonu č. 14 v hodnotě 128 ppm. Stroncium se vyskytuje v největší hodnotě u vzorku č. 13 s hodnotou 56 861 ppm. Zirkonium je nejvíce obsažen u vzorku č. 14 s hodnotou 197 ppm. Zirkonium nebylo zjištěno u vzorku č. 3, 4 a 10. Měď je zjištěna u všech vzorků displejů s minimální koncentrací 10 ppm u vzorků č. 6 a 15. Největší hodnota byla zjištěna u značky Samsung s technologií Super AMOLED Plus vzorku č. 4 s hodnotou 10 861 ppm.

Arsen, jehož nejvyšší hodnota byla zaznamenána 75 ppm u vzorku č. 4 a 74 ppm u vzorků č. 10 a 13. Nejméně je arsen zastoupen ve vzorku č. 12 značky IproS3 pro.

Hořík není obsažen ve vzorku č. 4 a 5 se stejnou technologií AMOLED a vzorek č. 14 s TFT LCD technologií. Vanad není zjištěn pouze u vzorku č. 15, nejméně je obsažen v hodnotě 51 ppm u vzorku č. 8 značky Evolve. Wolfram byl zjištěn u všech AMOLED technologií. U TFT LCD technologie se vyskytuje v závislosti na výrobcí. Zlato bylo zjištěno ve třech vzorcích č. 2, 4 a 12.

Chrom je obsažen ve vzorku č. 4, 5, 10 a 13. U vzorků s technologií AMOLED je chrom obsažen pouze u č. 4, 5, 13. U vzorků s technologií TFT LCD je obsažen pouze u vzorku č. 10.

Přítomnost manganu nebyla zjištěna u displeje vzorku č. 8 značky Evolve, u displejů stejné značky Prestigio, dále u značky Samsung s TFT LCD technologií a IproS3pro. Mangan nebyl u tohoto měření zjištěn u některých TFT LCD displejů, což bylo zjištěno i prvním měřením.

U vzorku č. 1, 2 s technologií TFT LCD a vzorku č. 13 s AMOLED technologií značky Samsung nebyl zjištěn výskyt niklu. Nikl nebyl zjištěn u dalších vzorků č. 6, 15, 8, 11 a 12. U vzorků č. 4 a 5 s AMOLED technologií byla přítomnost niklu zaznamenána s nejvyšší hodnotou 693 ppm u telefonu č. 4. U ostatních TFT LCD displejů se nikl vyskytuje s nejmenší hodnotou 12 ppm u jediného zástupce telefonu č. 3 Nokia. Měď je zjištěna u všech vzorků displejů s minimální koncentrací 10 ppm u vzorku č. 6 a 15. Největší hodnota mědi byla zjištěna u značky Samsung s technologií Super AMOLED Plus vzorku č. 4.

Prvek rubidium byl zjištěn u značek Samsung a iPro ve vzorcích č. 2 a 12.

Molybden je zastoupen u všech vzorků, ale u technologie AMOLED dosahuje nejvyšších hodnot (vzorek č. 13 s hodnotou 1521 ppm).

Prvek kadmium nebyl zjištěn ve vzorcích č. 3, 7, 10, 11, 14, zejména u TFT LCD technologie, oproti tomu technologie AMOLED tento prvek má obsažen ve všech displejích. Lze si povšimnout, že značky Samsung a Prestigio používá tento prvek k výrobě displejů.

Cín není obsažen pouze v jednom vzorku č. 10 značky Apple. Největší zastoupení je v TFT LCD displejích vzorku č. 3 s hodnotou 838 ppm a vzorku č. 11 s hodnotou 737 ppm.

Antimon má proměnlivé zastoupení, které je zjištěno u všech vzorků s výjimkou vzorků č. 4, 7, 8, 10, 11 a 13. Vzorky č. 4 a 13 s technologií AMOLED od značky Samsung nevyužívají antimon na výrobu displejů. Ostatní vzorky, u kterých antimon nebyl zjištěn, jsou vyrobeny technologií TFT LCD.

Rtuť není zjištěna ve vzorcích č. 1, 2 a 12 s technologií TFT LCD displeje. Ve všech ostatních vzorcích se rtuť vyskytuje. Největší obsah je zjištěn u vzorku č. 13 v množství 265 ppm. Další vysoké hodnoty rtuti byly zaznamenány ve vzorcích č. 4, 5 a 10. Nejnižší hodnoty jsou zjištěny u značky Prestigio, zejména ve vzorku č. 6.

Bismut analýzou zjištěn v 7 vzorcích telefonů. Ve vzorcích č. 6, 9, 15 značky Prestigio, Samsung (vzorky č. 1, 2), Evolve (vzorek č. 8), Acer (vzorek č. 11), IproS3 (vzorek č. 12) výskyt prvku nebyl zjištěn s technologií TFT LCD.

Thorium je obsaženo nejvíce ve vzorku č. 15 značky Prestigio. Podle výsledků se prvek více vyskytuje u displejů s TFT LCD technologií.

Uran se vyskytuje ve všech vzorcích. Nejvyšší hodnoty analyzovány u vzorků č. 5 a 13.

Nejnižší hodnota ze všech sledovaných prvků byla zjištěna u prvku arsen u vzorku č. 12 v množství 4 ppm. Nejvyšší hmotnostní koncentrace byla zjištěna u vzorku č. 9 a 15 od stejných výrobců a nejnižší byla zjištěna vzorku č. 12 iPro.

Experimentální měření krycích skel dotykových mobilních telefonů

Hliník, křemík, stroncium a zirkonium je zastoupeno ve všech zkoumaných vzorcích displejů. Lze říci, že se jedná o prvky, které jsou nedílnou součástí výroby krycích skel. Hořčík, vanad a chrom je zastoupen pouze ve vzorku č. 3 s hodnotou 41041 ppm u hořčíku a 971 ppm u vanadu, chrom v hodnotě 156 385 ppm. Pro výrobu skla je na displej potřeba křemík a vápník. Zjištěné výsledky z experimentální analýzy jsou prezentovány v příloze 6.

Z těžkých kovů byly zastoupeny Hg, Sb, Sn, Cd, As, Cu, Mn, Cr a V. Rtuť je obsažena v krycím skle u obou technologií displejů a to vzorku č. 3, 4, 13 a 14. Antimon má proměnlivé zastoupení u vzorku č. 1, 2, 4, 9, 11 a 14. Rtuť a zároveň antimon obsahuje vzorek č. 14, ale jako jediný vzorek cín neobsahuje. Prvek kadmium není zjištěn ve vzorku 3, 8, 10, 12, a 14. Prvek molybden nebyl zjištěn u vzorku č. 13 a 14 od odlišných značek. Arsen je obsažen u všech skel s nejvyšší hodnotou 119 ppm u telefonu č. 14, s výjimkou jediného vzorku č. 3, u kterého přítomnost arsenu nebyla zjištěna. Přítomnost mědi byla zjištěna u horního krycího skla obou technologií displejů TFT LCD a AMOLED vzorku č. 3, 4, 13 a 14. Nikl byl zjištěn u dvou vzorků č. 3 a 14 s vysoce odlišnou hodnotou. Mangan byl zjištěn u vzorku č. 3, 6, 12. Krycí skla jsou s různorodým složením.

7 DISKUZE

Vzhledem k tomu, že mobilní telefony mají kratší životnost, stávají se nedílnou součástí elektroodpadu. Výrobci modernizují použité výrobní technologie mobilních telefonů. Výrobce dle cenové kategorie svého výrobku volí použité materiály z důvodů vstupních nákladů a očekávaného zisku z prodeje. Do volby použitých materiálů vstupují i směrnice a zákony o snížení vlivu výrobků na životní prostředí.

V současné době se ve zpětném odběru ve stále větší míře vyskytují i telefony s dotykovými displeji. Zvýšený výskyt je způsoben sníženou životností těchto telefonů a malou odolností proti mechanickému poškození, zejména dotykové plochy displeje. Oprava displejů dotykových telefonů je nerentabilní a spotřebitelé z ekonomického důvodu volí cestu nákupu nového mobilního telefonu.

Akumulátor, který je nedílnou součástí v mobilních telefonech, se vlivem technologického pokroku vyvíjí pomaleji oproti jiným komponentům. Současné akumulátory v nejnovějších mobilních telefonech s dotykovými displeji nejsou vyjímatelné. Současné akumulátory jsou v telefonech zabudovány na pevně a není k nim možný přístup bez odborné demontáže. U značky Apple se nevyměnitelný akumulátor vyskytuje od prvního modelu telefonu. Pro mnoho světových výrobců bylo pro jejich produkty typickým znakem snadno vyměnitelný akumulátor. Výrobci v pevně uložených akumulátorech vidí velkou výhodu, hlavně možnost zesíhlení telefonu, omezení průniku prachu a vlhkosti. Po ukončení životnosti akumulátoru se nabízejí dvě možnosti nakládání, a to přinést telefon do autorizovaného servisu nebo další variantou, kterou někteří uživatelé využívají, koupě nového mobilního telefonu. Hodnocené telefony měly vyjímatelný typ akumulátoru s výjimkou jednoho vzorku mobilního telefonu.

V roce 2000 připadalo na 100 obyvatel 42 kusů mobilních telefonů, v roce 2014 již připadalo na 100 obyvatel 206 kusů mobilních telefonů. (Český statistický úřad, 2016)

Z výše uvedeného vyplývá, že množství užívaných a vyřazených mobilních telefonů neustále narůstá. Přesto, že jsou mobilní telefony oproti jiným typům elektrospotřebičů velikostně menší, neznamená to, že jsou méně rizikové pro životní prostředí.

Vyřazené mobilní telefony jsou z hlediska recyklačních procesů bohatým zdrojem druhotných surovin, které je jinak nutné nákladně těžít s dalšími environmentálními dopady.

Pro porovnání výsledků z materiálového složení mobilních telefonů byla použita práce Možnosti recyklace vybraných materiálů (Brožová a kol., 2014), Potential recycling availability and capacity assesment on typical metals in waste phones: A current research study in China (Tan a kol., 2017). Brožová a kol. (2014) uvádí materiálové složení telefonu Siemens M65, který je na trhu dostupný od roku 2004, s bezdotykovou technologií TFT LCD a uhlopříčkou 2,1“ (43 mm × 32 mm). Autoři Tan a kol., (2017) uvádí složení Nokia 6220C dostupnou od roku 2008 s nedotykovou technologií TFT LCD a 2,2“.

Vzájemným porovnáním bych chtěla poukázat na odlišné složení a změny materiálů v průběhu technologického vývoje. Pro srovnání byly použity práce, které se zabývají zcela nebo z části materiálovým složením v historických telefonech. Porovnání literárních zdrojů je znázorněno v souhrnné tabulce č 3.

Tabulka 3 Porovnání materiálového složení mobilních telefonů v hm. %, které se liší rokem výroby. (AUTOR, 2017)

Materiál	Průměrné složení (kapitola 8.1)	Siemens M65	Nokia
	[hm. %]	[hm. %]	[hm. %]
Plastové díly	17	29	25,75
Kovy	9	43	17,3
Smíšený materiál	14	4	
Elektrické součásti	17	18	17,67
Sklo	22	-	8,37
Akumulátor	21	-	21,12
Ostatní součástky	-	6	-

„-“, Hodnota není ve studiích obsažena

Při porovnání je z výsledků patrné, že se materiálové složení mobilních telefonů vlivem času, a tedy technologického vývoje mění. Závisí na rozměru, velikosti telefonu a jeho výrobci. Hlavním rozdílem v konstrukci telefonů je náhrada klávesnice za dotykové displeje.

Oproti starším modelům se zejména displeje zvětšují, jsou tvořeny hlavně ze skla a chráněny horním krycím sklem. Oproti tomu se navýšilo množství smíšeného materiálu tvořeného z kovu a plastu, který se nevyskytuje u modelu Nokia. Množství smíšeného materiálu závisí na výrobci a na roku výroby telefonu. Rozdílné hodnoty byly zjištěny u kovového materiálu s nejvyšší hodnotou 43 hm. %. Zajímavé zjištění je u procentuálního zastoupení elektrických součástek a akumulátoru, které se v podstatě nezměnilo.

Brožová a kol. (2014), tvrdí, že v průběhu 10 let došlo ke snížení hmotnosti. Hmotnost je dle mých poznatků stejná (starý typ vážil např. 114 g), dosažení stejné hmotnosti je kvůli většímu rozměru horního krycího skla (tvoří největší podíl složení a celkově hmotnosti). Což výsledky mé práce prokázaly, hmotnost telefonů je proměnlivá a závislá na celkové velikosti telefonu, hlavně podílu skla.

Dále Brožová a kol., (2014) tvrdí, že dochází k celkovému snížení spotřeby materiálu. Snižuje se spotřeba plastu, které jsou určeny na výrobu obalu. Šroubky jako spojovací materiál tvoří 1 % z hmotnosti telefonu.

Maragos a kol. (2012), uvádí, že mobilní zařízení je všeobecně složeno z plastového pouzdra, LCD displeje s kapalnými krystaly, elektronických obvodů, desky s plošnými spoji a akumulátoru. Příchod LCD displejů z tekutých krystalů snížil průměrnou hmotnost pracovní plochy.

Junga a kol. (2015) říká, že materiály se mohou lišit druhem odpadu a z hlediska okamžiku výroby. V současné době se více používají plasty. Podíl zastoupení plošných spojů vůči celkovému objemu elektrozařízení se zmenšuje. Elektrozařízení mají několik vzájemně provázaných materiálů. Což se potvrdilo při vyhodnocení experimentu. Tato skutečnost ovlivňuje technologickou koncepci zařízení pro jejich zpracování, především pro automatizované separační technologie a z částí nutného podílu lidské činnosti.

7.1 Měření

Displeje zahrnují širokou škálu chemických prvků. Důvodem je složení z různorodého materiálu (jako polarizátor, tekuté krystaly a sklo). Prvkové zastoupení se liší podle typu použité technologie displeje, podle výrobce a roku výroby. Z výsledků tohoto experimentu je patrné a všeobecně lze říci, že všechny hodnocené vzorky dotykových displejů bez ohledu na technologii obsahují stabilně Si, Ca, Ti, Fe, Cu, As, Sr, Mo, Zn, U a Zr. Prvky jsou nedílnou součástí všech typů displejů. Pro výrobu skla je na každý displej potřeba Si a Ca. Lin a kol., (2009) zjistili, že TFT LCD odpadní sklo obsahuje 72,8 % SiO₂, 20,1 % CaO a Na₂O 0,3 %. Výrazné odlišnosti přítomností kovů jsou pozorovány i mezi technologiemi TFT LCD a AMOLED z důvodu nepřítomnosti tekutých krystalů, snížením množství ITO vrstvy a vyššího počtu tranzistorů.

Prvek indium je obsažen ve všech vzorcích LCD technologie s výjimkou AMOLED technologie, u které bylo indium zjištěno v horním krycím skle. Největší koncentrace z těžkých kovů ve zkoumaných vzorcích tvoří Cu, Mo a Mn. U AMOLED technologie je vyšší koncentrace Cu a Mo z důvodu většího množství tranzistorů. Nejméně obsažen byl zejména kobalt a arsen, který byl sice obsažen ve všech vzorcích, ale v nízkých koncentracích. U Super AMOLED Plus displeje lze říci, že svým složením se liší oproti druhým displejům i mezi samotnou technologií AMOLED.

Z těžkých kovů výrobci nejvíce využívají do výroby displejů zejména arsen a uran, který je jako těžký kov zastoupen ve všech vzorcích. Ostatní zastoupení těžkých kovů je proměnlivé v závislosti na výrobci a zvolené technologii konkrétního modelu displeje. Není telefon, u kterého by nebyla zanalyzována přítomnost těžkého kovu, vždy obsahují alespoň jeden a více těchto kovů (As, Pb, Hg, Cu). Některé kovy jsou důležitou součástí výroby, bez kterých by displeje nemohly pracovat. Ostatní kovy, které se v displejích u některých typů značek vyskytují, by nemusely být použity, jestliže se bez nich obejdou ostatní značky. Což vyvolává otázku, zda obsah a množství těchto kovů nemá vliv případně na životnost a funkci samotného displeje.

Hlavní celkový vliv na složení kovů má zejména výrobce a odlišnost technologie. Nejmenší procentuální zastoupení kovů je zaznamenáno u dotykových displejů vzorku č. 12 značky iPro a vzorku č. 6 značky Prestigio. Což zároveň může mít vliv na životnost a funkci displeje.

Další část diskuze je zaměřena na porovnání výsledků obsahu kovů v dotykových displejích mobilních telefonů z odborných publikací.

Pro porovnání výsledků z analýzy obsahu kovů v dotykových displejích byly použity práce, které se zabývají touto problematikou. Pro přehlednost je porovnání jednotlivých prací znázorněno v textu v tabulce 4 a 5. Studie Qualitative and quantitative determination od heavy metals in waste cellular phones (Maragkos a kol. 2012) stanovovala obsah vybraných kovů v LCD displejích, desek s plošnými spoji a plastovém materiálu v mobilních telefonech různého roku a značky. Ze studie byl vybrán LCD displej od značky Iphone. Další práce Determination of toxic metals in discarded Liquid Crystal Displays (LCDs) Resources, Conservation and Recycling (Savvilotidou a kol., 2014), analyzoval obsah kovů v jednotlivých komponentech metodou hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-MS). Koncentrace olova je relativně nízká. Zinek je nalezen v nižší koncentraci oproti niklu. Dále autoři tvrdí, že výskyt Cd a Hg nebyl zjištěn. Autoři Silveira a kol., (2015) v článku Recovery of indium from LCD screens of discarded cell phones stanovovali obsah kovů metodou rentgenové fluorescenční spektrometrie.

Tabulka 4 Výsledky obsahu kovů z literárních zdrojů a jejich porovnání. (Autor, 2017)

Vzorek/ Autor	Vzorek č. 3	Silveira a kol. Nokia C2	Silveira a kol. Nokia	Vzorek č. 14	Savvilotidou a kol. Sony Ericsson Xperia E10i
Prvek	[ppm]	[mg/kg]	[mg/kg]	[ppm]	[mg/kg]
Cr	<LOD	116,67	<LOD	<LOD	381,36
Ni	11,96	97,19	<LOD	18,05	160,28
Zn	<LOD	140,82	<LOD	<LOD	166,52
Hg	97,77	<LOD	<LOD	152,63	<LOD
Pb	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Si	7949,82	<LOD	356680	146409,56	<LOD
Sr	26040,82	<LOD	260660	39430,5	<LOD
Ca	19510,9	<LOD	194220	12471,1	<LOD
Al	<LOD	3,66	92750	3480,71	5,45
Sb	28,67	<LOD	10990	43,05	<LOD
Sn	837,51	492,84	6750	142,13	635,23
Fe	143,41	<LOD	<LOD	366,58	<LOD
As	34,96	<LOD	<LOD	41,01	<LOD
Ti	1180,87	<LOD	<LOD	127,79	<LOD
Cu	41,75	7,6	<LOD	66,46	26,11

<LOD – Limit of detection (Detekční limit)

Tabulka prezentuje zjištěný obsah kovů v displejích jednotlivými vědeckými studiemi. Vzhledem k vyššímu počtu vzorků displejů jsem zvolila porovnání konkrétních typů displejů s technologií LCD stejné značky mobilních telefonů s časovou odlišností. Výsledky jiných autorů porovnávám s experimentálním měřením 2 uskutečněných v laboratorních podmínkách pro přesnost výsledků. Výskyt kovů a jejich hodnoty mohou být ovlivněny právě časem.

Vzorek č. 3 z tohoto experimentu je porovnán s displeji Nokia

V displejích s výrobní technologií LCD značky Nokia od autorů Silveira a kol. (2015), bylo zjištěno vysoké množství křemíku 356 680 ppm. Křemík je přítomen ve skle jako oxid křemičitý. Stroncium bylo zjištěno s hodnotou 260 660 ppm, což je výrazně odlišná hodnota. Vápník byl zjištěn v hodnotě 194 220 ppm. Hliník byl zastoupen v hodnotě 92 750 ppm a barium v hodnotě 26 460 ppm, v našem měření tyto prvky nebyly zjištěny. U tohoto experimentu vzorek Nokie obsahuje vápník 19 511 ppm, lze si povšimnout, že je hodnota výrazně odlišná. Došlo ke snížení antimonu 28,67 ppm. Prvek cín je obsažen v odlišném zastoupení. Výrazná odlišnost je v přítomnost mědi, kde nejvíce byla naměřena u autorů Silveira a kol. (2015).

Autoři Savvilotidou a kol., (2014) v displeji u Nokia C2 zjistili, že displej obsahuje cín v hodnotě 492,84 mg/kg v menším množství oproti druhým displejům, zinek byl zjištěn ve vyšší koncentraci v hodnotě 140,2 mg/kg. Nepatrné množství hliníku 3,66 mg/kg oproti druhým displejům a Cu s hodnotou 7,60 mg/kg.

Vzorek č. 14 z tohoto experimentu je porovnán se Sony Ericsson Xperia E10i

Savvilotidou a kol., (2014) zjistili u vzorku Sony Ericsson nejvyšší naměřenou hodnotu u chromu 381,36 mg/kg, zinek 166,52 mg/kg. Nikl byl naměřen s hodnotou 160,28 ppm. Hliník se vyskytuje v množství 5,45 ppm, což se výrazně liší s hodnotou experimentálního měření 3481 ppm. V tomto experimentu u tohoto vzorku nebyla zjištěna hodnota chromu. Nikl a zinek u tohoto vzorku dosahoval 18 ppm. Hodnoty cínu a mědi se liší s hodnotou cínu 365,23 mg/kg a mědi 26,11 mg/kg. V experimentu bylo zjištěno 142 ppm cínu a 66 ppm. Obsah mědi se v displeji zvýšil, obsah cínu a zinku snížil.

Tabulka 5 Výsledky obsahu kovů z literárních zdrojů a jejich porovnání. (Autor, 2017)

Vzorek/ Autor	Vzorek č. 2	Savvilotidou a kol. Samsung Star II	Vzorek č. 10	Konstantinos Iphone
Prvek	[ppm]	[mg/kg]	[ppm]	[mg/kg]
Cr	<LOD	147,22	61,25	103,8
Ni	<LOD	115,54	92,09	164,76
Zn	<LOD	136,49	<LOD	147,88
Hg	<LOD	<LOD	227,42	<LOD
Pb	<LOD	<LOD	<LOD	8,28
Si	202501,9	<LOD	280516	<LOD
Sr	5594,44	<LOD	52488,5	<LOD
Ca	23779,93	<LOD	31328,21	<LOD
Al	3051,88	2,24	65962,4	<LOD
Sb	18,25	<LOD	<LOD	<LOD
Sn	658,19	221,55	<LOD	<LOD
Fe	138,26	<LOD	694,73	<LOD
As	5,22	<LOD	73,88	<LOD
Ti	1076,82	<LOD	3564,41	<LOD
Cu	18,82	19,13	172,94	<LOD

<LOD – Limit of detection (Detekční limit)

Vzorek č. 2 je porovnán se Samsung Star II

Samsung Star má nejvyšší hodnotu u cínu 221,55 mg/kg, následně u chromu 147,22 mg/kg a zinku 136,49 mg/kg. Dále se v displeji vyskytuje nikl 115,54 mg/kg, měď 19,13 mg/kg a nejméně je obsažen hliník 2,24 mg/kg. Kadmium, rtuť, olovo, železo a arsen nebylo v tomto článku zjištěno, což se neslučuje s našimi naměřenými hodnotami. Oproti tomu v tomto experimentu u vzorku č. 2 bylo zjištěno větší množství 658,19 ppm cínu a chromu 180 ppm. Nižší množství je zjištěno u zinku s hodnotou 17,25 ppm. Prvek nikl ve vzorku nebyl nalezen. Měď byla zjištěna s hodnotou 18,82 ppm, což se shoduje i u autorů Savvilotidou a kol., (2014). Hliník je obsažen ve výrazně odlišné hodnotě 3052 ppm. Kadmium v hodnotě 19,77 ppm a železo 138,26 ppm. Opět v rámci porovnání jsou výsledky z měření odlišné a u některých až výrazné s výjimkou mědi. Lze říci, že spotřeba některých kovů v displeji narůstá, zejména využití cínu a chromu v displeji se zvýšila oproti staršímu modelu.

Vzorek č. 10 je porovnán s iPhone

V iPhone (Konstatinost, 2013) byl zjištěn chrom s hodnotou 103,80 mg/kg, nikl 164,76 mg/kg, zinek 147,88 mg/kg. Olovo bylo zjištěno 8,28 mg/kg. V experimentu u vzorku č. 10 značky Apple byla zjištěna přítomnost chromu v menším množství 61 ppm, nikl také v menším množství 92 ppm a zinek s hodnotou 104 ppm. Největší rozdíl byla zjištěn u rtuti v hodnotě 227 ppm. Displeje se liší naměřenými hodnoty a zastoupení prvků, kde množství Cd a Hg bylo pod detekčním limitem, přičemž v experimentu byla zjištěna přítomnost rtuti 227 ppm. Kadmium nebylo zjištěno ani u jednoho displeje.

Z výsledků porovnání lze říci, že v rámci času a vlivem zlepšování technologie displejů dochází ke změně koncentrace některých vybraných kovů. Podle srovnání u značky Nokia došlo ke snížení kovů jako Sb a Cu. U značek Sony Ericsson a Samsung je snižená koncentrace prvku Zn a zvýšená koncentrace Cu u značky Sony. U značky Apple nebylo ani v jednom měření analyzováno kadmium.

Healthy stuff (2017), ekologická organizace pro výzkum toxických látek v produktech, která testovala obsah nebezpečných chemických látek v mobilních telefonech s dotykovými displeji a tvrdí, že všechny mobilní telefony obsahují nebezpečné látky. Telefony od značky Samsung měli nejlepší průměrné hodnocení ze všech telefonů. U výrobce Apple došlo ke zlepšení, novější telefony vyšly jako nejlepší ze všech testovaných telefonů. Všeobecně tvrdí, že novější telefony jsou lepší než starší modely. Celkové hodnocení výrobků se od roku 2007 zlepšilo o 33 %. Což znamená zvýšené zaměření průmyslu na chemická rizika a jejich snižování ve výrobcích. Dochází celkově k přechodu na bezpečnější možnost výroby telefonů. Tvrdí, že výrobci používají LCD displeje bez rtuti a skla bez obsahu arzenu. V tomto experimentu byl v displejích zjištěn výskyt rtuti a arzenu.

Novější modely mobilních telefonů jsou ekologicky šetrnější oproti starším typům mobilních telefonů, který není v důsledku snížení v rizikových prvcích, ale spíše kvůli miniaturizaci obalu pro snížení hmotnosti. Mohou mít značnou toxicitu pro životní prostředí, jako má olovo. (Wu a kol., 2008).

Sarath a kol., (2015) vzhledem k obsahu těžkých kovů v mobilních telefonech navrhl, aby se výrobci zaměřili na snížení používání těžkých kovů.

8 ZÁVĚR

Vlivem technologického vývoje dochází ke zvyšování produkce elektroodpadu, zejména u mobilních telefonů z důvodu jejich krátké životnosti. Mobilní telefony jsou součástí našeho života a umožňují přenos dat a zvuku. Mobilní zařízení jsou zdrojem druhotných surovin, ale zároveň jejich komponenty, které jsou z různorodého materiálu, obsahují množství nebezpečných látek. Koncentrace těžkých kovů v dotykových displejích závisí na výrobci a výrobní technologii. Zvyšováním koncentrace kovů v půdě přispívá k nárůstu kovů potravním řetězci a celkově negativně působí na životní prostředí.

Experimentální část diplomové práce je zaměřena na zjištění materiálového složení mobilních telefonů a stanovení obsahu kovů v dotykových displejích zkoumaných telefonů. Bylo získáno 15 mobilních telefonů od společností, které se zabývají zpětným odběrem. Získané mobilní telefony byly demontovány, analyzovány a hodnoceny.

Z materiálového složení hodnocených telefonů bylo zjištěno, že se mobilní telefony skládají z desky s plošnými spoji, dotykového displeje, krytu a akumulátoru. Telefony jsou vyráběny z různých materiálů podle roku výroby a typu výrobce. Výraznou změnou v konstrukci telefonů je odstranění tlačítek klávesnice, kde tuto funkci zastupuje dotyková plocha displeje.

Dotykový displej spolu s akumulátorem jsou komponenty mobilního telefonu s nejkratší životností. Zejména displeje jsou náchylné na mechanické poškození a vzhledem k jejich neopravitelnosti jsou nejčastěji vyměňovaným dílem mobilního telefonu. V současné době je oprava mobilních telefonů nerentabilní při pořizovacích cenách nového výrobku.

Výrobci neustále modernizují použité výrobní technologie mobilních telefonů. Dle cenové kategorie svého výrobku výrobci volí materiály dle vstupních nákladů a očekávaného zisku z prodeje. Množství užívaných a vyřazených mobilních telefonů neustále narůstá. Přesto, že jsou mobilní telefony oproti jiným typům elektrospotřebičů velikostně menší, neznamená to, že jsou méně rizikové pro životní prostředí. Některé materiály, z kterých jsou komponenty mobilních telefonů vyrobeny, obsahují nebezpečné látky. Tyto látky představují hrozbu pro životní prostředí, proto je důležité, aby byly správně odstraněny, případně do budoucna využity.

Metodou rentgenové fluorescenční spektrometrie (XRF) bylo v displejích a jejich krycích sklech zjištěno množství cenných a těžkých kovů. Všechny hodnocené dotykové displeje v mobilních telefonech vždy obsahují prvky jako Si, Ca, Ti, Fe, Cu, As, Sr, Mo, Zr, Zn, Cu a U. Výrazné odlišnosti přítomností kovů jsou pozorovány mezi technologiemi TFT LCD a AMOLED, hlavně z důvodu nepřítomnosti tekutých krystalů, snížením počtu vrstev, která je tvořena ze směsi oxidu india a cínu a vyšším počtu tranzistorů. Přítomnost kovů je závislá na výrobci a na výrobní technologii dotykového displeje.

Nejvyšší koncentrace kovů z obou měření byla zjištěna u zirkonia a hořčíku. Z těžkých kovů se nejvíc vyskytuje měď a molybden, které jsou nedílnou součástí výroby displejů. Olovo a rtuť má výrazný dopad na lidské zdraví, byly zjištěny ve většině analyzovaných vzorků. Nejmenší procentuální zastoupení kovů je zaznamenáno u dotykových displejů méně věhlasných značek. Což zároveň může mít vliv na zobrazovací schopnosti a životnost dotykových displej.

Dotykové displeje mohou být cenným zdrojem drahých kovů, ale současně nebezpečné pro životní prostředí prostřednictvím nejčastějších způsobů nakládání s tímto odpadem jako je spalování nebo skládkování. Mobilní telefon je oproti jiným elektrozařízením menší, ale toxicita může být srovnatelná s velikostně větším elektrozařízením.

Při porovnání výsledků materiálového složení a obsahu kovů u odlišných mobilních telefonů s ostatními literárními zdroji bylo zjištěno, že nejvýraznější změnou v materiálovém složení mobilních telefonů je nárůst hmotnostního podílu skla. Změna je způsobena náhradou tlačítkových klávesnic dotykovými displeji. Největší podíl skla tvoří horní krycí skla, která slouží k ochraně displeje před mechanickým poškozením. Vlivem technologického vývoje došlo i k navýšení smíšeného materiálu tvořeného z plastu a kovu. Množství smíšeného materiálu závisí na výrobci a na roku výroby telefonu. Procentuální zastoupení akumulátoru a elektrických součástek se vlivem času nezměnilo. Dále je při porovnání z výsledků patrné, že se materiálové složení mobilních telefonů vlivem času a tedy technologického vývoje mění. V další části diskuze se zjistila odlišnost obsahu kovů v dotykových displejích stejných typů značek, ale s různým rokem výroby. Podle srovnání u značky Nokia došlo ke snížení kovů jako Sb a Cu. U značek Sony Ericsson a Samsung je snížená koncentrace prvku Zn

a zvýšená koncentrace Cu u značky Sony. U značky Apple nebylo ani v jednom měření Cd analyzováno.

Dalo by se říci, že mobilní telefon má vliv na životní prostředí a přispívá ke znečištění životního prostředí, jak svou zkrácenou životností, materiálovým složením, tak i obsahem kovů. V současnosti se výrobci zabývají zlepšováním funkčnosti displejů, než vlivem na životní prostředí.

9 LITERÁRNÍ ZDROJE

BENCKO, V., CIKRT, M., LENER, J. *Toxické kovy v pracovním a životním prostředí člověka*. 1. Vyd. Praha, 1984, 264 s. ISBN 08-052-84

BROŽOVÁ, S., KONSTANCIÁK, A., VÁŇOVÁ, P., JURSOVÁ, S., PUSTĚJOVSKÁ, P., INGALDI, M., WARZECHA, M., KARDAS, E. *Možnosti recyklace vybraných materiálů*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2014, 100 s. ISBN 978-80-7204-880-9.

DRÁPALA, J., KURSA, M. *Elektrotechnické materiály*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. 2012, 439 s. ISBN 978-80-248-2570-0.

FILIP, J. *Odpadové hospodářství*. 1. Vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2002. 116 s. ISBN 80-7157-608-5.

FILIP, J., KOTOVICOVÁ, J., BOŽEK F. *Komunální odpad a skládkování*. 1. Vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2003, 121 s. ISBN 80-7157-712-X.

JUNGA, P., VÍTĚZ, T., TRÁVNÍČEK, P. *Technika pro zpracování odpadů I*. 1. Vyd. Brno, 2015, 142 s. ISBN 978-80-7509-207-6.

KIZLINK, J. *Odpady – sběr, zpracování, využití, zneškodnění, legislativa*. 3. Vyd. Brno, 2014, 500 s. ISBN 978 – 80-7204-884-7.

KRIŠTOFOVÁ, D. *Kovy a životní prostředí*. Environmentálně nebezpečné složky elektroodpadu. 1. Vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2005, 66 s. ISBN 80-248-0740-8.

KURAŠ, M. *Odpady a jejich zpracování*. Vodní zdroje Ekomonitor, spol. s.r.o. 1. Vyd. 2014, 343 s. ISBN 978-80-86832-80-7

MATOUŠEK, D. *Práce s inteligentními displeji LCD, 1. Díl*. Praha: BEN technická literatura, 2006, 224 s. ISBN 80-7300-121-7.

POLÁK M., DRÁPALOVÁ L. *Analýza celkové životnosti mobilních telefonů: Odhad vzniku odpadu v ČR v letech 1995-2020*. Acta Environmentalica universitatis comenianae Bratislava, 2012, 98 – 102 s. ISBN 1335-0285.

ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ: *velká novela zákona o odpadech od 1.10.2015*: redakční uzávěrka 21.9.2015. Ostrava: Sagit, 2015. ÚZ. ISBN 978-80-7488-216-6.

Internetové zdroje:

ASEKOL. *REFLATED – od krystalů k pixelům*. Zpětný odběr [online] 2011 [cit. 2016-11-12] Dostupné na: <http://www.asekol.cz/tiskove-centrum/dokumenty-ke-stazeni/casopis-zpetny-odber/>

ASEKOL. *Příspěvek na historické elektro už v ceně neuvidíme*. Zpětný odběr [online] 2013 [cit. 2017-03-25]. Dostupné na: <http://zpetnyodber.cz/clanky/prispevek-na-historicke/>

ASEKOL. Elektrozařízení [online] 2014 [cit. 2017-02-19] Dostupné na: <http://www.asekol.cz/asekol/>.

BAS RUDICE spol. s.r.o. *Ruční analyzátor kovu delta professional* [online] 2016 [cit. 2017-02-13]. Dostupné na: https://www.bas.cz/innov-x/systems/rucni_analyzator_kovu_delta_professional.php

CORNING. *Gorilla Glass*. [online] 2017 [cit. 2017-03-04]. Dostupné na: <http://www.corning.com/gorillaglass/worldwide/en.html>

CZC.cz. *Mobily, tablety a SMART* [online] 2016 [cit. 2016-09-10]. Dostupné na: <https://www.czc.cz/evolveo-fx420/120212/produkt>

ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD. Informační společnost v číslech 2016 [online] 2016 [cit. 2017-03-01]. Dostupné na: https://www.czso.cz/documents/10180/43344124/IS2016_Shrnuti.pdf/c87dbb00-de46-4ab6-b85b-f9725b0445c6?version=1.1

ELEKTROWIN. *Souhrn povinností* [online] 2017 [cit. 2017-04-01]. Dostupné na: https://www.elektrowin.cz/cs/download/b_vyrobcu_dovozci/souhrn-povinnosti_vyrobcu.pdf

EUR – Lex. *Access to European Union law* [online] 2017 [cit. 2016-11-20]. Dostupné na: <http://eur-lex.europa.eu/homepage.html>

Google. *Obrázky – displeje* [online] 2017 [cit. 2017-03-20]. Dostupné na: https://www.google.cz/search?hl=cs&authuser=0&site=img&tbm=isch&source=hp&biw=1366&bih=638&q=displeje&oq=displeje&gs_l=img.3..0i5i30k114j0i24k116.23508

.24639.0.24805.11.11.0.0.0.0.137.780.5j3.8.0....0...1ac.1.64.img..3.8.778.0..0j35i39k1j0
i30k1.Dt2mxxnuWto

HEALTHY STUFF. iPhone 5 ranks higher than Galaxy S III in new study on toxic chemicals in phones [online] 2017 [cit. 2017-03-20]. Dostupné na: <http://www.ecocenter.org/article/news-ecolink-press-releases/iphone-5-ranks-higher-galaxy-s-iii-new-study-toxic-chemicals>

HEUREKA Shopping s.r.o. *Mobilní telefony* [online] 2017 [cit. 2016-28-11]. Dostupné na: <https://mobilni-telefony.heureka.cz/>

IPROCZECH. *Mobilní telefony iPro-S3pro* [online] 2013 [cit. 2016-10-10] Dostupné na: <http://iproczech.wix.com/iproczech#!untitled/zoom/c1ger/i0235v>

KONVALINKA, J. *LCD a jejich technologie 1 – jak to funguje.*[online] 2013 [cit. 2016-11-25]. Dostupné na: <http://notebook.cz/clanky/technologie/2013/LCD-1>

MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. *Vybrané ukazatele odpadového hospodářství v oblasti odpadních elektrických a elektronických zařízení za rok 2015.* [online] 2017 [cit. 2017-02-12]. Dostupné na: [http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/odpadni_elektronicka_zarizeni_nakladani_cr/\\$FILE/OODP-vybrane_ukazatele_elektrozarizeni-20170105.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/odpadni_elektronicka_zarizeni_nakladani_cr/$FILE/OODP-vybrane_ukazatele_elektrozarizeni-20170105.pdf)

MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. *Statistická ročenka 2015 životního prostředí.* [online] 2016, 505 s. [2017-18-01]. Dostupné na: http://www.mzp.cz/cz/statisticka_rocenka_zivotního_prostředí_publikace

MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. *Zpráva o životním prostředí České republiky* [online] 2014, 189 s. [cit. 2016-30-06]. Dostupné na: [http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/zpravy_o_stavu_zivotního_prostředí_publikace/\\$FILE/SOPSPZ-ZPRAVA_ZPCR_2014-20160201.pdf5](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/zpravy_o_stavu_zivotního_prostředí_publikace/$FILE/SOPSPZ-ZPRAVA_ZPCR_2014-20160201.pdf5).

MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. *Program předcházení vzniku odpadů ČR* [online] 2014, 136 s. [cit. 2016-30-06]. Dostupné na: [http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/predchazeni_vzniku_odpadu_navrh/\\$FILE/OODP-PPVO-2014_10_27.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/predchazeni_vzniku_odpadu_navrh/$FILE/OODP-PPVO-2014_10_27.pdf)

MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. *Platná legislativa* [online] 2017, [cit. 2017-02-02]. Dostupné na: <http://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/>

ODPADY. *Pilotní projekt pro mobilní telefony* [online] 2002 [cit. 2016-10-08] Dostupné na: <http://odpady-online.cz/pilotni-projekt-pro-mobilni-telefony/>

O2. *Telefony a zařízení* [online] 2016 [cit. 2016-08-12]. Dostupné na: <https://www.o2.cz/osobni/mobilni-telefony/>

PRESTIGIO. *Smartphony* [online] 2017 [cit. 2016-09-10]. Dostupné na: http://www.prestigio.com/catalogue/Archive_products/MultiPhones_-_Archive/MultiPhone_4044_Duo#/product-specs?article=PAP4044DUOWHITE

PERIODICKÁ TABULKA. *Mendělejevova periodická soustava prvků* [online] 2017 [cit. 2017-02-20]. Dostupné na: <http://www.prvky.com/periodicka-tabulka.html>

SAMSUNG. *Chytré telefony* [online]. 2016 [cit. 2016-09-10]. Dostupné na: <http://www.samsung.com/cz/smartphones/all-smartphones/>

SEDMÁ GENERACE. *Bídná elektronika* [online] 2016 [cit. 2017-02-08]. Dostupné na: <http://www.sedmagerace.cz/text/detail/bidna-elektronika>

TSBOHEMIA.CZ. *Chytré telefony* [online] 2017 [cit. 2016-07-08] Dostupné na: https://www.tsbohemia.cz/acer-liquid-z200-cerny_d198744.html

TŘETÍ RUKA. *Mobilní telefony se také stanou odpadem, zajímavá čísla a suroviny v mobilních telefonech* [online] 2009 [cit. 2016-12-15]. Dostupné na: <http://m.tretiruka.cz/news/mobilni-telefony-se-take-stanou-odpadem-zajimava-cisla-a-suroviny-v-mobilnich-telefonech/>

UNIVERSAL DISPLAY CORPORATION. *Oled* [online] 2017 [cit. 2017-01-10] Dostupné na: <http://oled.com/oleds/>

Články

CUCCHIELLA, F., D'ADAMO, I., KOH, L., ROSA, P. *Recycling of WEEEs: An economic assessment of present and future e-waste streams*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, [online] 2015, 263 – 272 s. Dostupné na: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115005808>

KASPER C. ANGELA, GUILHERME B. T. BERSELLI, BRUNO D. FREITAS, JORGE A.S. TENÓRIO, ANDRÉA M. BERNARDES, HUGO M. VEIT. *Printed wiring boards for mobile phones: Characterization and recycling of copper*. Waste Management. [online] 2011, 2536 – 2545 s. Dostupné na:

https://www.researchgate.net/publication/51638426_Printed_wiring_boards_for_mobile_phones_Characterization_and_recycling_of_copper

LIN, K. L., CHANG, WK, CHANG, TCH, LEE, CHH, LIN, CHH. *Recycling thin film transistor liquid crystal display (TFT-LCD) waste glass produces as glass-ceramics*. Journal of Cleaner production. [online] 2009. 1499-1503 s. Dostupné na: https://www.researchgate.net/publication/223052910_

MANIVANNAN SENTHIL VELMURUGAN. *Environmental and health aspects of mobile phone production and use: Suggestions for innovation and policy*. Environmental Innovation and Societal Transitions. [online] 2016, 69 – 79 s. Dostupné na: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210422416300260>

MARAGKOS KONSTANTINOS G., HAHLADAKIS JOHN N., EVANGELOS GIDARAKOS. *Qualitative and quantitative determination of heavy metals in waste cellular phones*. Waste Management [online] 2013, 1882-1889 s.

MROZIK A., MARCZEWSKA B., BILSKI P., KLOSOWSKI M. *Investigation of thermoluminescence properties of mobile phone screen displays as dosimeters for accidental dosimetry*. Radiation Physics and Chemistry. [online] 2014. 88-92 s. Dostupné na: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0969806X14000176>

ODPADY. *Řízený životní cyklus výpočetní techniky pomáhá předcházet odpadům*. Red. Jarmila Šťastná. Praha 2016.

RUCEVSKA I., NELLEMAN C., ISARIN N., YANG W., LIU N., YU K., SANDNÆS S., OLLEY K., MCCANN H., DEVIA L., BISSCHOP L., SOESILO D., SCHOOLMEESTER T., HENRIKSEN, R., NILSEN, R. *Waste Crime – Waste Risks: Gaps in Meeting the Global Waste Challenge*. Nairobi and Arendal, [online] 2015, 68s. Dostupné na: <http://www.grida.no/publications/166>

SARATH P., BONDA S., MOHANTY S., NAYAK K., S. *Mobile phone waste management and recycling: Views and trends*. Waste management. [online] 2015, 536–

545s. Dostupné na:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X15301227>

SAVVILOTIDOU V., HAHLADAKIS J. N., GIDARAKOS E. *Determination of toxic metals in discarded Liquid Crystal Displays (LCDs)*. Resources, Conservation and Recycling. [online] 2014, 108-115 s. Dostupné na: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344914001839>

SAWANISHI H., TORIHARA K., MISHIMA N. *A study on Disassemblability and Feasibility of Component Reuse of Mobile Phones*. 12th Global Conference on Sustainable Manufacturing. [online] 2015, 740 – 745 s. Dostupné na: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827114009032>

SILVEIRA A.V.M., FUCHS M. S., PINHEIRO D.K., TANABE E.H., BERTUOL D.A. *Recovery of indium from LCD screens of discarded cell phones*. Waste management. [online] 2015, 334 – 342 s. Dostupné na: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X15002792>

TAN Q., DONG Q., LIU L., SONG Q., LIANG Y., LI J., *Potential recycling availability and capacity assesment on typical metals in waste phones: A current research study in China* [online] 2017, 509 – 517 s. Dostupné na: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617302408>

WILHELM M., HUTCHINS M., MARS C., BENOIT-NORRIS C. *An overview of social impacts and their corresponding improvement implacations: a mobile phone case study*. Journal of Cleaner Production. [online] 2015, 302 – 315 s. Dostupné na: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615003789>

WU B., Y., CHAN Y., C., MIDDENDORF A., GU X., ZHONG H., W. *Assesment of toxicity of metallic elements in discarded electronics: A case study of mobile phones in China*. Journal of Environmental Sciences. 2008. 1403-1408 s. ISSN 1001-0742

10 SEZNAM OBRÁZKŮ

Graf 1 Množství elektrozařízení uvedeného na trh a zpětně odebrané elektrozařízení v ČR [t], v letech 2009 až 2015.	16
Obr. 1 Složení TFT LCD displeje.....	20
Obr. 2 Složení AMOLED displeje	21
Graf 2 Způsob nakládání s elektrozařízením v roce 2015 pro ČR	26
Obr. 3 Ruční rentgenový fluorescenční spektrometr (XRF).	37
Obr. 4 Ukázka měřených vzorků získaných z materiálového složení. Po levé straně dotykový displej a po pravé horní krycí sklo.	37
Graf 3 Průměrné složení hodnocených telefonů v hm %.	38

11 SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Typy mobilních telefonů s výrobní technologií displejů. Informace v tabulce jsou deklarované výrobci.	41
Tabulka 2 Porovnání naměřených hodnot ze vzorků č. 2 a 13.	45
Tabulka 3 Porovnání materiálového složení mobilních telefonů v hm. %, které se liší rokem výroby.	51
Tabulka 4 Výsledky obsahu kovů z literárních zdrojů a jejich porovnání.	54
Tabulka 5 Výsledky obsahu kovů z literárních zdrojů a jejich porovnání.	56

12 SEZNAM ZKRATEK

ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
Ag	Stříbro
Au	Zlato
Al	Hliník
AMOLED	Active Matrix Oled Light Emitted Display
As	Arsen
Bi	Bismut
Ca	Vápník
Cd	Kadmium
Co	Kobalt
Cr	Chrom
Cu	Měď
ČR	Česká republika
Fe	Železo
Hg	Rtuť
In	Indium
ITO	Indium tin oxide
kol.	Kolektiv
LCD	Liquid Crystal Display
LOD	Limit of detection
Mg	Hořčík
Mn	Mangan
Mo	Molybden
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
Nb	Niob
Ni	Nikl
Pb	Olovo
Pd	Palladium
PMMA	Polymethylmethakrylát

PVC	Polyvinylchlorid
Rb	Rubidium
Re	Rhenium
Sb	Antimon
Se	Selen
Si	Křemík
Sn	Cín
Sr	Stroncium
s.r.o.	Společnost s ručením omezeným
Th	Thorium
Ti	Titan
TFT	Thin film Transistor
U	Uran
USA	The United States of America
V	Vanad
W	Wolfram
XRF	Rentgenová fluorescenční spektrometrie
Zn	Zinek
Zr	Zirkonium

13 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 – Materiálové složení jednotlivých hodnocených mobilních telefonů

Příloha 2 – Kovy a jejich vybrané vlastnosti

Příloha 3 – Výsledky prvního experimentálního měření displejů

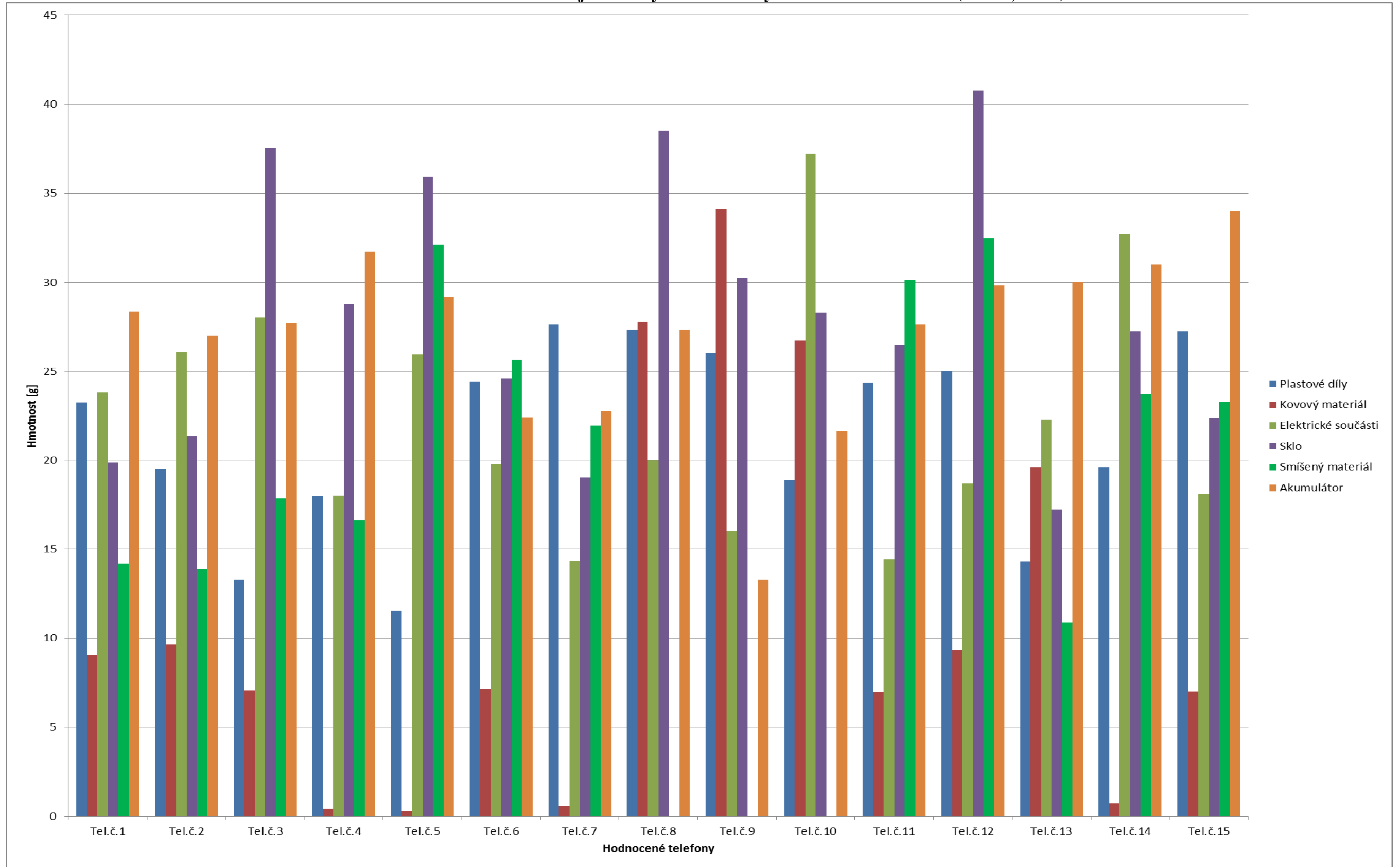
Příloha 4 – Výsledky prvního experimentálního měření krycích skel

Příloha 5 – Výsledky druhého experimentálního měření displejů

Příloha 6 – Výsledky druhého experimentálního měření krycích skel

Příloha 7 – Rozložený vzorek č 12 iPRO S3 pro

PŘÍLOHA 1 Materiálové složení jednotlivých hodnocených mobilních telefonů (Autor, 2017)



PŘÍLOHA 2 - Kovy a jejich vybrané vlastnosti

Vlastnosti kovů byly zjištěny od autorů Drápala a Kursa (2012) a z periodické tabulky (2017).

Antimon (Sb) ve formě oxidu je velmi málo rozpustný a málo toxický. Využívá se jako nehořlavý materiál do skel a jako příměs do slitin.

Arsen (As) v anorganické formě je přirozeně se vyskytující kontaminant podzemní vody. V nepatrných koncentracích je vždy přítomen ve všech rostlinných a živočišných tkáních a tekutinách. Pro člověka akutní zdravotní nebezpečí nehrozí. Vyskytuje se v tranzistorech a diodách. Obvykle je přidán do skla ve formě oxidu na zlepšení optické čirosti skleněného panelu LCD displeje.

Bismut (Bi) je křehký kov, je jednou z přísad ve snadno tavitelných slitinách. Používá se pro tavné pájky, tavné pojistky tepelných zařízení.

Cín (Sn) je využíván při ochraně železa. Anorganický cín je velmi dobře vstřebáván. Nachází se v pájecím materiálu a na tištěných spojích.

Hliník (Al) je vodičem elektrického proudu, odolává korozi. Spolu s molybdenem se používá pro metalizaci v tenkovrstvých tranzistorech pro TFT LCD displeje.

Hořčík (Mg) má nejmenší hustotu a je vysoce reaktivní. Kovový hořčík se využívá jako konstrukční materiál, je složkou lehkých slitin a málo vede teplo a proud. Je součástí katod v OLED displejích.

Chrom (Cr), jeho toxické vlastnosti jsou přičítány jeho šestimocné formě. V této formě je toxický pro člověka. V půdě je přítomen ve formě Cr^{3+} v málo vstřebatelné formě pro rostliny, je velmi nepravděpodobné ohrožení zdraví člověka. Vrstva chromu je uložena na skleněném substrátu, který slouží jako kovová mřížka pro tranzistory.

Indium (In) je v zemské kůře značně vzácným prvkem. Svými vlastnostmi se nejvíce podobá cínu, částečně i zinku. Použití pro polovodiče, termistory. Jako částečná náhrada za olovo u nových typů bezolovnatých pájek.

Kobalt (Co) je velmi pevný, svou tvrdostí a pevností předčí ocel. Je používán jako příměs do slitin, v akumulátorech a barvivech.

Kadmium (Cd) je kov, který je chemicky podobný zinku, i v malém množství je vysoce toxický. Akumuluje se ve vodě, půdě a vstupuje do potravinových řetězců. Je schopen chránit železo před korozi a zlepšovat vlastnosti dalších kovů. Jako stabilizátor je přidáván do plastů.

Měď (Cu) se koncentruje v minerální frakci půdy. Obsah mědi v půdě je proměnlivý. Měď kontaminuje povrchové vody. Vysoká elektrická vodivost, používá se jako elektrodová vrstva v tenkovrstvých tranzistorech. Měď je většinou používána v kombinaci s molybdenovou vrstvou jako elektrodová vrstva.

Mangan (Mn) se používá ve slitinách a zvyšuje jeho pevnost. Slitiny s niklem a mědí jsou významné v elektrotechnickém průmyslu.

Molybden (Mo) se vyskytuje ve všech složkách životního prostředí, v různém množství. Vyskytuje se však pouze ve sloučeninách. Základní použití je při přípravě slitin, protože zlepšuje vlastnosti ocelí. Povlaky tvořené z molybdenu jsou hlavním komponentem tenkovrstvých tranzistorů displejů. Oxid molybdenu absorbuje světlo, je elektrickým vodičem a zároveň antireflexní vrstvou.

Nikl (Ni) je karcinogenní, toxický. Vyskytuje se ve vodě, půdě a ovzduší. V ocelových slitinách, k elektrolytickému poniklování částí z kovu a plastu. Je odolný vůči korozi, je žáruvzdorný. V elektronických součástkách slouží karbonát niklu jak ve vakuové, tak i tranzistorové technice. Slitina niklu, chromu a železa je používána při výrobě elektrických odporů.

Niob (Nb) se společně s molybdenem používá v dotykových displejích jako ochrana vůči korozi elektrického vedení vrstvy ITO.

Olovo (Pb) je vysoce toxické, má nízký bod tání. Je obsažen v pájce (Sn-Pb), ale výrobci je omezována jeho spotřeba. Těžký kov je používán jako stabilizátor ve výrobcích z PVC a pigmentaci v nátěrových hmotách. Olovo se v lidském organismu akumuluje do kostí.

Palladium (Pd) se v přírodě vyskytuje celkem vzácně. Je druhým nejrozšířenějším lehkým platinovým kovem. Paládium se využívá v tvrdých pájkách a slitinách.

Rhenium (Re) se vyznačuje se mimořádně nízkým výskytem na Zemi. Je velmi vzácný, těžký, tvrdý a odolný kovový prvek. Používá se na galvanické pokrytí elektronek, pro kontakty.

Rtuť (Hg) se vyskytuje v horninách ve formě sulfidů. Do životního prostředí se rtuť dostává během své výroby a zpracování. Na výrobu elektrod, elektrických zařízení. Není dobrým vodičem tepla a elektrického proudu.

Rubidium (Rb) se v přírodě jako volné rubidium nevyskytuje, je znám pouze jeho výskyt ve sloučeninách. Je řazen mezi alkalické kovy. Používá jako sklářská přísada pro zvýšení tvrdosti skla

Selen (Se) je poměrně vzácný kov. Významný svými fotoelektrickými vlastnostmi. Využití jako polovodič, při výrobě fotocitlivých elektrosoučástí, zejména tenkovrstvých fotoelektrických článků.

Stroncium (Sr) se v přírodě volně nenalézá. Kovové stroncium je součástí některých lehkých slitin. Jako sloučenina se používá v optice, kvůli vysokému indexu lomu.

Stříbro (Ag) se těží z četných druhů stříbrných rud a doprovází zejména olověné rudy. Ze všech kovů má nejlepší elektrickou a tepelnou vodivost. Použití v pájkách, kontaktech, galvanických povlacích, slitinách.

Titan (Ti) má vysokou pevnost a nízkou hustotu. Hlavní využití je v chemickém a strojírenském průmyslu. Využívá se na výrobu elektrod nebo výbojek.

Thalium (Tl) je měkký kov, vlastnostmi se podobající olovu. Používá se pro speciální slitiny a jako příměs do skla.

Uran (U) je tvrdý, tvárný radioaktivní kov, který se dá i za normální teploty dobře kovat a válcovat. V přírodě se uran vyskytuje jako směs radioaktivních izotopů. Kovový uran a některé jeho sloučeniny se používají k barvení skla.

Vanad (V), koncentrace vanadu v půdě, pitné vodě a potravě jsou relativně nízké a nepodařilo se prokázat specifické symptomy poškození organismu. Je používán při výrobě konstrukčních ocelí a speciálních slitin.

Vápník (Ca) je třetí nejrozšířenější kov a pátý nejrozšířenější prvek v přírodě. Používá se jako příměs do slitin a skel.

Wolfram (W) se využívá jako mezivrstva s vysokým bodem tání. Vrstva zaručuje nesmíchání vrstev s nízkým bodem tání.

Zirkonium (Zr) má vysokou odolnost vůči korozi. Je součástí pájky a několika slitin. Používá se pro dekorativní nátěry na mědi a při výrobě speciálních elektronek.

Zinek (Zn) je relativně měkký kov, reaguje s anorganickými kyselinami i organickými látkami. Používá zejména v oblasti protikorozi ochrany. Ze zinku se vyrábějí elektrody elektrochemických zdrojů proudu.

Zlato (Au) se v přírodě se vyskytuje převážně v ryzí formě, ale může se nacházet v menší míře i ve sloučeninách. Využití pro integrované obvody, k napařování spojů v polovodičových součástkách. V elektronice se používá vysoce čisté zlato, zejména pro mikrodráty a fólie.

Železo (Fe) je nejrozšířenější kov na Zemi. Jako složka ocelí je železo nejdůležitějším kovem. Dalšími prvky slitiny železa jsou uhlík, křemík, mangan, chrom, nikl, wolfram, kobalt, vanad mají vliv na tvrdost, pružnost, nerezavost.

PŘÍLOHA 3 Výsledky prvního experimentálního měření displejů

Tabulka č. 1 Výsledky dotykových displejů vzorek č. 1 až vzorek č. 8 (Autor, 2017)

Prvek	Vzorek (měření první)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Ag	<LOD	<LOD	<LOD	1830	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Au	53	46	150	250	230	<LOD	210	<LOD
Bi	<LOD	<LOD	310	450	450	<LOD	460	<LOD
Co	<LOD	<LOD	150	200	140	<LOD	160	<LOD
Cr	180	180	700	800	900	<LOD	940	<LOD
Fe	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
In	480	420	310	<LOD	<LOD	840	560	870
Mn	120	180	470	370	550	<LOD	480	<LOD
Mo	580	293	72	1470	<LOD	320	<LOD	301
Nb	94	82	53	<LOD	59	87	50	89
Ni	<LOD	<LOD	<LOD	1010	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Pb	<LOD	<LOD	160	260	270	<LOD	260	<LOD
Pd	600	560	430	280	530	620	440	610
Re	<LOD	<LOD	120	210	200	<LOD	230	<LOD
Sn	1210	1180	1240	210	<LOD	1120	<LOD	1090
W	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Zn	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	670
Zr	2180	2070	8500	14100	14800	1690	15000	1740

<LOD – Limit of detection (Detekční limit)

Tabulka č. 2 Výsledky dotykových displejů vzorek č. 9 až vzorek č. 15 (Autor, 2017)

Prvek	Vzorek (měření první)						
	9	10	11	12	13	14	15
Ag	410	<LOD	<LOD	<LOD	870	<LOD	410
Au	<LOD	260	<LOD	<LOD	330	270	<LOD
Bi	<LOD	510	<LOD	<LOD	610	460	<LOD
Co	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	210	<LOD
Cr	<LOD	1300	500	<LOD	1000	900	<LOD
Cu	<LOD	680	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Fe	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	2700	<LOD	<LOD
In	680	1390	400	570	<LOD	720	490
Mn	<LOD	700	350	220	700	510	400
Mo	890	<LOD	<LOD	430	<LOD	<LOD	460
Nb	110	56	46	108	<LOD	47	140
Ni	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Pb	<LOD	300	<LOD	560	330	260	<LOD
Pd	730	490	340	<LOD	530	450	710
Re	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	310	310	<LOD
Sn	1210	<LOD	860	1020	<LOD	<LOD	860
W	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	360	<LOD
Zn	<LOD	<LOD	6400	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Zr	2140	14100	3600	1790	21700	14300	1550

<LOD – Limit of detection (Detekční limit)

PŘÍLOHA 4 Výsledky prvního experimentálního měření krycích skel

Tabulka č. 1 Výsledky krycích skel vzorek č. 1 až vzorek č. 8 (Autor, 2017)

Prvek	Vzorek [ppm] (měření první)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Ag	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Au	<LOD	<LOD	<LOD	150	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Bi	<LOD	<LOD	<LOD	320	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Cr	<LOD	<LOD	<LOD	640	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Cu	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
In	290	350	340	210	210	270	280	180
Mn	<LOD	<LOD	<LOD	320	<LOD	150	120	<LOD
Mo	125	121	94	<LOD	59	105	83	60
Nb	101	97	95	<LOD	42	89	105	45
Pb	<LOD	<LOD	<LOD	185	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Pd	590	590	480	<LOD	360	550	430	310
Re	<LOD	<LOD	<LOD	130	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Sn	1730	2460	2990	1090	2250	<LOD	1270	<LOD
Zr	305	205	196	10100	187	1290	154	262

<LOD – Limit of detection (Detekční limit)

Tabulka č. 2 Výsledky krycích skel vzorek č. 9 až vzorek č. 15 (Autor, 2017)

Prvek	Vzorek [ppm] (měření první)							
	9	10	11	12	13	14	15	
Ag	460	0	370	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
Au	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	140	<LOD	<LOD	
Bi	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	350	<LOD	<LOD	
Cr	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	620	<LOD	<LOD	
Cu	650	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
In	1200	290	300	<LOD	210	190	170	
Mn	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	310	<LOD	<LOD	
Mo	<LOD	56	109	42	<LOD	270	76	
Nb	114	42	101	29	<LOD	54	50	
Pb	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	179	<LOD	<LOD	
Pd	660	310	600	250	<LOD	370	360	
Re	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	160	<LOD	<LOD	
Sn	1060	<LOD	<LOD	<LOD	1140	<LOD	<LOD	
Zr	2080	143	282	192	10700	14000	287	

<LOD – Limit of detection (Detekční limit)

PŘÍLOHA 5 Výsledky druhého experimentálního měření displejů

Tabulka č. 1 Výsledky dotykových displejů vzorek č. 1 až vzorek č. 15 (Autor, 2017)

Vzorek	Prvek [ppm] (druhé měření)								
	Mg	Al	Si	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe
1	29814	1343	14943	24982	1019	87	<LOD	<LOD	152
2	18066	3052	202502	23780	1077	71	<LOD	<LOD	138
3	27381	<LOD	7950	19511	1181	524	<LOD	124	143
4	<LOD	62640	36924	22174	2471	222	172	166	1527
5	<LOD	56336	253918	108023	2818	353	168	249	550
6	15096	1418	20159	8563	936	81	<LOD	<LOD	66
7	19568	<LOD	10500	10777	388	229	<LOD	102	332
8	24315	<LOD	25280	8062	722	51	<LOD	<LOD	69
9	30972	71488	273295	109289	1792	110	<LOD	<LOD	215
10	15922	65962	280516	31328	3564	228	61	205	695
11	19007	1284	20873	6421	1181	472	<LOD	68	65
12	22706	<LOD	1646	18239	1263	136	<LOD	<LOD	142
13	306831	56946	29151	28051	2372	229	108	220	1209
14	<LOD	3481	146410	12471	128	219	<LOD	125	367
15	44526	87579	385182	77897	264	<LOD	<LOD	<LOD	165

<LOD – Limit of detection (Detekční limit)

Tabulka č. 2 Výsledky dotykových displejů vzorek č. 1 až vzorek č. 15 (Autor, 2017)

Vzorek	Prvek [ppm] (druhé měření)									
	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Rb	Sr	Zr	Mo
1	<LOD	<LOD	22	27	6	3	<LOD	5677	122	198
2	<LOD	<LOD	19	17	5	<LOD	5	5594	90	121
3	<LOD	12	42	45	35	24	<LOD	26041	<LOD	365
4	186,09	693	10861	447	75	59	<LOD	22979	<LOD	1363
5	<LOD	56	105	75	67	63	<LOD	24796	82	1185
6	<LOD	<LOD	10	4	9	5	<LOD	4646	32	103
7	<LOD	27	65	51	50	35	<LOD	38275	95	305
8	<LOD	<LOD	13	258	11	4	<LOD	4640	44	106
9	<LOD	45	275	14	16	9	<LOD	6367	9	36
10	<LOD	92	173	104	74	96	<LOD	52489	<LOD	897
11	<LOD	<LOD	17	2246	26	12	<LOD	11644	55	104
12	<LOD	<LOD	24	41	4	<LOD	7	5054	31	148
13	<LOD	<LOD	97	76	74	62	<LOD	56861	180	1521
14	<LOD	18	66	58	41	44	<LOD	39431	197	364
15	<LOD	<LOD	10	18	11	6	<LOD	5079	22	204

<LOD – Limit of detection (Detekční limit)

Tabulka č. 3 Výsledky dotykových displejů vzorek č. 1 až vzorek č. 15 (Autor, 2017)

Vzorek	Prvek [ppm] (druhé měření)									
	Ag	Cd	Sn	Sb	W	Au	Hg	Bi	Th	U
1	26	23	673	25	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	134
2	36	20	658	18	<LOD	7	<LOD	<LOD	8	98
3	22	<LOD	838	29	30	<LOD	98	7	<LOD	638
4	1171	18	119	<LOD	59	70	241	16	<LOD	783
5	671	26	57	32	56	<LOD	248	24	<LOD	1203
6	27	22	564	21	16	<LOD	3	<LOD	<LOD	114
7	21	<LOD	28	<LOD	29	<LOD	160	10	<LOD	819
8	30	17	576	<LOD	<LOD	<LOD	6	<LOD	10	87
9	37	21	513	20	<LOD	<LOD	18	<LOD	19	51
10	33	<LOD	<LOD	<LOD	2093	<LOD	227	18	<LOD	851
11	<LOD	<LOD	737	<LOD	<LOD	<LOD	42	<LOD	6	246
12	32	20	585	22	<LOD	7	<LOD	<LOD	7	96
13	99	22	65	<LOD	56	<LOD	265	22	14	1205
14	26	<LOD	142	43	205	<LOD	153	15	<LOD	1093
15	50	26	396	27	<LOD	<LOD	9	<LOD	23	69

<LOD – Limit of detection (Detekční limit)

PŘÍLOHA 6 Výsledky druhého experimentálního měření krycích skel

Tabulka č. 1 Výsledky krycích skel vzorek č. 1 až vzorek č. 15 (Autor, 2017)

Vzorek	Prvek [ppm] (druhé měření)									
	Mg	Al	Si	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni
1	<LOD	79357	297063	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	164	<LOD
2	<LOD	80684	290763	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	58	<LOD
3	41041	16665	6908	2691	<LOD	971	156385	14147	677130	74482
4	<LOD	53479	248542	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	48	<LOD
5	<LOD	52856	254488	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	131	<LOD
6	<LOD	9047	312071	70773	<LOD	<LOD	<LOD	22	876	<LOD
7	<LOD	73073	264274	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	43	<LOD
8	<LOD	9629	290214	61528	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	772	<LOD
9	<LOD	12303	309543	71725	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	880	<LOD
10	<LOD	13022	294241	62694	107	<LOD	<LOD	<LOD	757	<LOD
11	<LOD	9889	313856	70032	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	1023	<LOD
12	<LOD	10795	292475	65057	<LOD	<LOD	<LOD	63	739	<LOD
13	<LOD	67678	230843	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	114	<LOD
14	<LOD	70277	287227	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	45
15	<LOD	13127	296766	63590	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	843	<LOD

<LOD – Limit of detection (Detekční limit)

Tabulka č. 2 Výsledky krycích skel vzorek č. 1 až vzorek č. 15 (Autor, 2017)

Vzorek	Prvek [ppm] (druhé měření)									
	Cu	As	Rb	Sr	Zr	Mo	Cd	Sn	Sb	Hg
1	<LOD	2	<LOD	7	130	3	19	1110	46	<LOD
2	<LOD	2	<LOD	4	76	5	22	1555	16	<LOD
3	2615	<LOD	34	140	75	1144	<LOD	132	<LOD	173
4	6,03	49	<LOD	6520	443	12	18	1664	184	21
5	<LOD	2	4	6	95	2	20	1730	<LOD	<LOD
6	<LOD	3	33	142	284	5	9	34	<LOD	<LOD
7	<LOD	3	6	11	93	5	16	1106	<LOD	<LOD
8	<LOD	2	39	59	153	5	<LOD	29	<LOD	<LOD
9	<LOD	3	42	63	154	5	8	23	16	<LOD
10	<LOD	10	30	79	133	5	<LOD	45	<LOD	<LOD
11	<LOD	3	50	60	122	4	12	27	21	<LOD
12	<LOD	2	30	50	45	6	<LOD	45	<LOD	<LOD
13	12	37	<LOD	7313	562	<LOD	10	1697	<LOD	20
14	482	119	<LOD	191	29218	<LOD	<LOD	<LOD	1746	177
15	<LOD	3	41	61	153	5	13	20	<LOD	<LOD

<LOD – Limit of detection (Detekční limit)

PŘÍLOHA 7 Rozložený vzorek č 12 iPRO S3 pro

