

## MOŽNOSTI MATERIÁLOVÉHO ZHODNOTENIA VYRADENÝCH MOBILNÝCH TELEFÓNOV

*Laubertová M., Ukašík M., Zajacová M., Havlík T.*

*Technická univerzita v Košiciach, Hutnícka Fakulta, Katedra neželezných kovov a spracovania odpadov, Košice, Slovensko, e-mail: martina.laubertova@tuke.sk*

## POSSIBILITIES OF USED MOBILE PHONES MATERIAL RECOVERY

*Laubertová M., Ukašík M., Zajacová M., Havlík T.*

*Technical University in Kosice, Faculty of Metallurgy, Department of Non-ferrous Metals and Waste Treatment, Kosice, Slovakia, e-mail: martina.laubertova@tuke.sk*

### Abstract

Considering the present development telecommunication technology and constantly modern technologies of mobile phone results in his exchange more often. The mobile phone that is past of service ends its life cycle and becomes waste. It has a heterogeneous composition and contains a lot of dangerous matters like lead, cadmium, beryllium, cobalt but also matters like nickel, copper and gold that may be reused. The endeavor is to prevent eliminated cell phones, as part of electronic waste, to end up at waste dumps and so that they don't cause any potential threat for the environment. The objective of this work is to sum up the actual state of cell phones recycling possibilities and to become familiar with the treatment problem of electronic waste, whose amount is still increasing, as well as to prepare a material balance, evaluation and propose a possible solution variant.

**Keywords:** mobile phone, recycling, material balance, leaching

### Abstrakt

Súčasný vývoj telekomunikačnej techniky je jednou z najrýchlejšie sa rozvíjajúcej oblasti elektrotechniky. Svetový telekomunikačný priemysel produkuje stále väčšie množstvo novej techniky a technológií mobilných telefónov, čo má za následok aj tlak na užívateľov k ich častejšej obmene. Mobilný telefón, ktorý už doslúžil, končí svoj životný cyklus a stáva sa odpadom. Z hľadiska chemického má heterogénne zloženie a obsahuje množstvo nebezpečných látok ako sú olovo, ortuť, kadmium, berýlium, kobalt, ale i celú radu ďalších kovov, ako meď a zlato, ktoré recyklovať. Snahou je, aby vyradené mobilné telefóny ako súčasť elektronického odpadu, neskončili na skládkach a neznamenali tak potenciálne nebezpečenstvo pre životné prostredie. Cieľom tejto práce je zhodnotiť súčasný stav možnosti recyklácie zložiek vyradených mobilných telefónov, materiálovo vybilancovať tento druh odpadu a navrhnúť možný variant riešenia.

### 1. Úvod

Mobilný telefón je elektrozariadenie, ktoré je napájané z akumulátora. Priemerná hmotnosť mobilného telefónu sa zredukovala z 10 kg roku 1980 až na 0.5 kg a v roku 1990 na menej ako 0.1 kg v súčasnosti. Ročná celosvetová produkcia mobilných telefónov je 400 miliónov a ich hmotnosť predstavuje 40 000 t. Pokiaľ by sa vzalo do úvahy aj batérie

a príslušenstvo, celková hmotnosť by mohla byť až dvojnásobná [1]. Koncom roka 1999 sa odhadoval počet celosvetovo používaných mobilných telefónov na 480 mil. kusov. V súčasnosti pri priemernej dvojročnej dobe životnosti, skončí s najväčšou pravdepodobnosťou v odpade 500 mil. telefónov ročne. Toto množstvo predstavuje z hľadiska hmotnosti približne 30 000 ton plastov, 7.5 t Cu, 500 t Ni, 500 t Zn, 500 t Ag a tiež stovky ton Pb pájok a ďalších ťažkých kovov ako Cr, Co, Hg [2]. Vzhľadom na nezanedbateľné množstvá nebezpečných látok nachádzajúcich sa v mobilných telefónoch sa problematika ich spracovania stáva čoraz náročnejšou.

Zákonom Slovenskej republiky č. 733/2004, ktorým sa mení a dopĺňa zákon č. 223/2001 Z. z. o odpadoch, sa upravila problematika elektrozariadení a ich odpadov. Podľa tohto zákona sa mobilné telefóny radia medzi elektroodpad, vrátane všetkých zložiek, konštrukčných dielcov, ktoré sú súčasťou elektrozariadenia v čase, keď sa ho držiteľ zbavuje [3]. Z toho vyplýva, že vyradené mobilné telefóny nie sú reprezentované len kovmi a kovovými dielcami, ale zahŕňajú aj jeho obal a príslušenstvo. Mobilné telefónne prístroje sa podľa vyhlášky 208/2005 Z. z. o nakladaní s elektrozariadeniami a s elektroodpadom zaraďujú do kategórie označením 3.19 [4], tab. 1.

Table 1 Register of electroequipments by category and type.

| kategória                | druh   |
|--------------------------|--|
| č.1 (1.1-1.18)           | Veľké domáce spotrebiče  |
| č.2 (2.1-2.12)           | Malé domáce spotrebiče   |
| č.3 (3.1- 3.21 )<br>3.19 | Informačné technológie a telekomunikačné zariadenia<br>Mobilné telefónne prístroje |
| č.4 (4.1- 4.8)           | Spotrebná elektronika  |
| č.5 (5.1- 5.6)           | Svetelné zdroje  |
| č.6 (6.1- 6.8)           | Elektrické a elektronické nástroje   |
| č.7 (7.1- 7.6)           | Hračky, zariadenia určené na športové a rekreačné účely                            |
| č.8 (8.1-8.10)           | Zdravotnícke zariadenia  |
| č.9 (9.1- 9.5)           | Prístroje na monitorovanie a kontrolu  |
| č.10 (10.1-10.5)         | Predajné automaty  |

Smernica Európskeho parlamentu a Európskej rady 2002/96/EC, prijatá 27. januára 2003, zakazuje používanie niektorých nebezpečných látok v elektrických a elektronických zariadeniach, konkrétne olova, ortuti, kadmia, šesťmocného chrómu a dvoch typov brómovaných spomaľovačov horenia v PBB a PBDE v spotrebných a technologických výrobkoch, ktorého postupná realizácia sa začína od 1. júla 2006 a skompletizuje sa o dva roky neskôr. Tieto vymenované látky obsahuje aj mobilný telefón [5]. Dôležitou je aj Európska smernica 2002/96/ES o odpadných elektrických a elektronických zariadeniach, ktorá je súčasťou novely zákona, a jej podstata spočíva o prenesení zodpovednosti na výrobcu a dovozcu za svoje výrobky v celom jej životnom cykle, kde patrí aj povinnosť zabezpečenia recyklácie týchto výrobkov. Z uvedeného vyplýva, že už v tomto období tieto dva dokumenty nadobudli platnosť a v roku 2008 je potrebné predostrieť a realizovať riešenie tohto problému.

Z uvedených dôvodov sa táto práca zaoberá možnosťami spracovania vyradených mobilných telefónov ako relatívne samostatnej komodity elektroodpadov s cieľom hľadať riešenie v zmysle smerníc EU.

## 2. Experimentálna časť

Materiálové zloženie mobilných telefónov je veľmi rôznorodé. Tabuľka 2 uvádza kvalitatívne a kvantitatívne zloženie mobilného telefónu podľa posledných štúdií spracované

medzinárodnou inštitúciou drahých kovov IPMI v USA [1]. Je vidieť že med' zaberá najväčšie množstvo z MT, hoci nie je definovaný jej presný obsah.

Table 2 Register and quantity substances in mobile phone [ 6]

| Prvok  | forma, umiestnenie   | obsah v 1 MT      | karcinogén    |
|--------|--|-------------------|---------------|
| Pb     | Elektronická sústava obvodov – Sn - Pb pájky, nie v displeji                 | 1.5 g             | áno + jed     |
| Cd     | NiCd batérie, v pokovovaných kontaktoch a prepínačoch v elektronickom obvode | 25 % hmotnosti MT | áno           |
| Be     | Cu, Be zliatina (98% Cu ≤ 2% Be), v spojoch vonkajších drôtov                | 0.1 g             | áno           |
| Co     | V Li - Ion (Li iónová batéria )  |                   | áno           |
| Ni     | NiCd , NiMH- batérie, oceľové zliatiny                                       |                   | áno + alergén |
| Hg     | Ortuťová výbojka -staré MB   | 0.01g             | neurolog. jed |
| Ag     | Forma Ag <sup>o</sup> - elektronika a klávesnicové kontakty                  | niekoľko gramov   | nie           |
| As     | GaAs v mikro -elektronike v sústave obvodov,                                 | < 1mg             | áno           |
| Sn     | Pb pájky v doske plošných spojov   | stopy             | nie           |
| Zn     | Batérie, sústava elektronických obvodov                                      | stopy             | nie           |
| Cu     | sústava elektronických obvodov   | najviac-          | nie           |
| Br     | doske plošných spojov  |                   |               |
| Plasty | Obal MT a nabíjačka, PC/ABC  | 1/3 z MT          |               |

Nebezpečenstvo mobilných telefónov spočíva najmä v obsahu toxických a karcinogénnych kovoch a ďalších organických a anorganických nebezpečných látok. Počas normálnej manipulácie a tiež otvorení krytu, sa žiadne látky z mobilného telefónu samovoľne neuvoľnia. Ťažké kovy prítomné vo forme kovov a zliatin sú relatívne neškodné. Environmentálny dopad a vplyv na zdravie človeka môžu mať voľne uložené ako odpad na skládke, kde sa môžu pôsobením kyslých dažďov, slnečného žiarenia a činnosťou baktérií z odpadu po určitej dobe uvoľňovať alebo pri spaľovaní komunálneho odpadu prechádzať do ovzdušia.

### 2.1 Chemická analýza mobilných telefónov.

V prvej fáze štúdia sa uskutočnila chemická analýza odpadu mobilných telefónov metódou atómovej absorpčnej spektrometrie (AAS). Pri príprave vzoriek na analytickú jemnosť sa mobilné telefóny bez batérií podrútili na kladivovom drviči, kde jemnosť frakcie bola 1 mm a následne sa po kvartácií odobrali vzorky na chemickú analýzu, pričom sa vzorka rozpúšťala v lúčavke kráľovskej. Tabuľky 3 a 4 zachytávajú chemické zloženie mobilných telefónov dvoch značiek. Ukázalo sa, že sa oba telefóny v zložení líšia, ale najväčšie zastúpenie kovov v oboch prípadoch má med'. Nezanedbateľným je relatívne vysoký obsah Au, Ag a Pt.

Table 3 Chemical composition of used mobile phone Ericsson A 1018 S

| Element | Cu    | Zn   | Fe   | Ni   | Pt   | Au   | Ag   | Pb   | Sn   |
|---------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| [%]     | 16.67 | 8.12 | 7.07 | 0.62 | 0.07 | 0.02 | 0.01 | 0.31 | 0.58 |

Table 4 Chemical composition of used mobile phone Motorola D520

| Element | Cu   | Zn | Fe   | Cd    | Pt    | Au    | Ag    | Pb   | Sn   |
|---------|------|----|------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| [%]     | 8.22 | -  | 7.07 | 0.001 | 0.007 | 0.042 | 0.001 | 0.25 | 0.84 |

### 2.2 Skúšky vylúhovateľnosti

V ďalšej fáze sa uskutočnil test vylúhovateľnosti podľa zákona 606/1992 Z. z. [6]. Okrem normalizovaného testu vylúhovania destilovanou vodou sa zrealizovalo aj lúhovanie v

zmesi kyselín ( kyselina sírová + kyselina dusičná v pomere 3:2) o hodnote pH = 3 odpovedajúcich pôsobeniu kyslých dažďov. Celý, nepodrvnený mobilný telefón aj s batériou sa lúhoval v destilovanej vode počas 24 hodín. Ten istý postup sa zopakoval aj pri kyseline. Z výsledkov testov vylúhovania, tab.5, je zrejmé, že v prípade ťažkých kovov Pb, As, Cu, Ni, Sn sa prekročili hraničné koncentrácie pre prvú triedu vylúhovateľnosti v destilovanej vode. V simulovanom teste pôsobením kyslých dažďov sa taktiež uvoľňujú ťažké kovy Pb, As, Cu, Ni, Sn, avšak ich uvoľnené množstvá sú v porovnaní s vodnými výluhmi podstatne vyššie, 10 až 100 x.

Table 5 Leaching analyses

|  | Pb   | As   | Sb   | Cu   | Ni   | Sn   | Cd    | Co   |
|--|------|------|------|------|------|------|-------|------|
|  | mg/l |      |      |      |      |      |       |      |
| H <sub>2</sub> O                                 | 0.14 | 1.10 | 0    | 0.14 | 0.16 | 0.8  | 0     | 0    |
| H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> +HNO <sub>3</sub> | 3.13 | 1.08 | 0    | 3.39 | 1.53 | 82.7 | 0     | 0    |
| I.trieda   | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.1  | 0.1  | 0.05 | 0.005 | 0.05 |
| II.trieda  | 0,5  | 0,1  | 0,1  | 1,0  | 0,5  | 0,5  | 0,1   | 0,5  |

### 2.3 Materiálová bilancia mobilných telefónov

Vyradené mobilné telefóny sa vzhľadom na svoje materiálové zloženie stávajú významným odpadovým tovarom. Z tohto hľadiska je nutná nielen chemická, ale aj materiálová analýza z hľadiska postupu demontáže a získania využiteľných materiálov. K tomuto účelu sa použila vzorka vybraných vyradených mobilných telefónov, pričom sa postupovalo nasledovne: Vyradený MT sa odvážil, ručne demontoval na jednotlivé frakcie, zaznamenala sa doba demontáže a odvážili sa jednotlivé demontované frakcie. Súhrn výsledkov je zachytený v tabuľke 6.

Table 6 Parts of decomposed mobile phones

| Časti                 | ERICSSON A1018S [ % ] | ERICSSON [ % ] | MOTOROLA D520 [ % ] |
|-----------------------|-----------------------|----------------|---------------------|
| Plasty                | 28.16                 | 43.18          | 40.05               |
| Baterky               | 43.83                 | 31.89          | 30.99               |
| Mikrofóny             | 1.22                  | 0.95           | 0.64                |
| kovy                  | 0.99                  | 2.5            | 2.25                |
| Doska plošných spojov | 23.48                 | 19,05          | 21.86               |
| Displej               | 2.32                  | 2.43           | 4.21                |
| spolu [%]             | 100                   | 100            | 100                 |
| spolu [g]             | 206.33                | 148            | 133,1               |

Priemerná doba demontáže bola 10 minút. Jednotlivé frakcie sa rozdelili do troch skupín, považovaných za základné tak, ako uvádza tab. 7, spolu s materiálovou bilanciou mobilných telefónov. Z tab. 7 vyplýva, že mobilný telefón by mohol byť temer dokonale recyklovateľný, ak uvážime, že v teste demontované telefóny mali hmotnosť 130-210 g.

Table 7 Total view of obtained material

| skupina | získaný materiál                                    | množstvo [g] | využitelnosť                               |
|---------|---|--------------|--|
| 1       | Plasty, guma, silikón                               | 58.43        | Recyklácia plastu/<br>energetické využitie |
| 2       | Batérie   | 59.42        | odborné odstránenie                        |
| 3       | Kovy, mikrofóny, displej,<br>doska plošných spojov, | 44.42        | druhotná surovina<br>obsahujúca kovy       |
|         | Spolu   | 163.07       |  |

Keďže sa vzhľadom na relatívne veľké množstvá odpadu použitých mobilných telefónov ukazuje reálna možnosť ich spracovania, navrhla sa principiálna schéma tohto procesu, zobrazená na obr. 1. Samozrejme, konkrétny postup je potrebné odskúšať na veľkej vzorke takéhoto odpadu separovaného zberu.

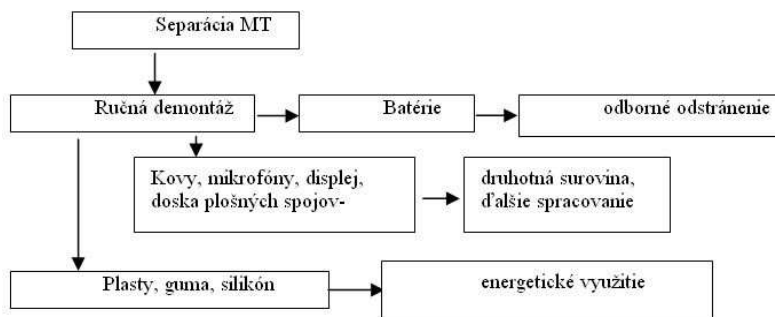


Fig.1 Schematic view of used mobile phones material recovery

## Záver

Navrhnutá schéma ukazuje možnosť materiálovej aj energetickej recyklácie mobilných telefónov. Po odstránení batérie sa mobilný telefón demontuje na jednotlivé frakcie podľa navrhnutého postupu. Skupina 3 obsahujúca kovy sa po úprave na vhodnú zrnitosť môže následne spracovať v šachtovej peci pri výrobe Cu, ktorá je kolektorom ušľachtilých kovov. Pri tavení olovo v sebe rozpúšťa ušľachtilé kovy, ktoré sa následne získajú z anódových kalov a Sn odchádza do úletov. Problém je s nehomogenitou vstupnej vsádzky, vzorkovaním a následným získaním reprezentatívnej vzorky

Len na Slovensku bolo ku roku 2003 aktívnych spolu okolo 3 milióny užívateľov mobilných telefónov [7,8]. Pri priemernej dvojročnej dobe životnosti, skončí s najväčšou pravdepodobnosťou v odpade 3 milióny MT, čo predstavuje 177 t batérií a 132 t kovov a plastov, využiteľných ako druhotná surovina. Predstava, že každým rokom počet vyradených mobilných telefónov narastá nás nemôže nechať ľahostajnými či už z hľadiska ako nosiča nebezpečných látok alebo z hľadiska využiteľnosti jednotlivých látok ako druhotnej suroviny je potrebné ich recyklovať aby neskončili na skládkach a neznamenali tak potenciálne nebezpečne pre životné prostredie.

## Pod'akovanie

*Autori vyslovujú pod'akovanie slovenskej grantovej agentúre VEGA MŠ, grant 1/2643/05 za podporu riešenia tohto projektu.*

## Literatúra

- [1] International Precious Metals Institute, Environmentally sound management used mobile telephones, [http://ipmi.org/pdf/IPMI\\_Guidance\\_Used\\_Mobile\\_Phones.pdf](http://ipmi.org/pdf/IPMI_Guidance_Used_Mobile_Phones.pdf) (2006-03-20)
- [2] Elektronický šrot, Odpady, 2001, č.5., s. 1.
- [3] Zbierka zákonov č 733/2004 z 2. decembra 2004, <http://www.zbierka.sk/ciastka.asp?ro=2004&cc=300> (2006-05-05)
- [4] Zbierka zákonov č. 208/2005 z 29. apríla 2005 o nakladaní s elektrozariadeniami a s elektroodpadom, <http://www.zbierka.sk/ciastka.asp?ro=2005&cc=92> (2006-05-05)

- 
- [5] Babič M.:Elektronický odpad - odvrátená tvár využívania IT,  
<http://www.efocus.sk/clanok.asp?id=2257> (2006-05-08)
- [6] Triedy vylúhovateľnosti odpadov, [http://www.fns.uniba.sk/pravo/606\\_92.htm](http://www.fns.uniba.sk/pravo/606_92.htm) (2006-05-09)
- [7] Výročná správa za rok 2003,  
[http://www.orange.sk/images/static/pdf/orange\\_annual\\_2003\\_sk.pdf](http://www.orange.sk/images/static/pdf/orange_annual_2003_sk.pdf) (2006-04-10)
- [8] Ročná správa za rok 2003,  
[http://www.tmobile.sk/c1/pdf/vyročne\\_spravy/et\\_marketing\\_vs\\_2003.pdf](http://www.tmobile.sk/c1/pdf/vyročne_spravy/et_marketing_vs_2003.pdf) (2006-04-10)