Pregled recikliranja EE otpada te separacija metala iz mobilnih telefona primjenom elektrostatičke separacije

Biondić, Anja

Master's thesis / Diplomski rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:933946

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Diplomski studij rudarstva

PREGLED RECIKLIRANJA EE OTPADA TE SEPARACIJA METALA IZ MOBILNIH TELEFONA PRIMJENOM ELEKTROSTATIČKE SEPARACIJE

Diplomski rad

Anja Biondić
R 142

Zagreb, 2017.

Za svih ovih šest godina koje su me promijenile za 360, otvorile mi oči i stavile me na životni put otkrivanja same sebe.
Hvala mentoru prof. Bedekoviću koji mi je omogućio pisanje ovog rada.
Hvala prof. Veinoviću koji mi je otvorio oči i otkrio moju ljubav prema "drugoj strani" ovog fakulteta – sve što se ne tiče rudarstva.
Veliko hvala mojim roditeljima, Anđi i Milanu bez kojih ne bih uspjela apsolutno ništa, hvala na ogromnoj podršci, ljubavi, financiranju i kvocanju kako ću naći posao.
Mojim sestrama, koje su uvijek tu da me upute u suprotan smjer kada krenem u tamu.
Najboljim prijateljima, mojim ljubavima, domaćima i diljem Europe (i Rusije) bez kojih studentski dani ne bi bili toliko zanimljivi. Hvala na svim neprospavanim noćima, smijehu, suzama i slomljenim srcima zbog naših rastanaka.
Dino, hvala ti što me voliš i podržavaš čak i kada jedino što ti pokažem su mane.

Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Diplomski rad

PREGLED RECIKLIRANJA EE OTPADA TE SEPARACIJA METALA IZ MOBILNIH TELEFONA PRIMJENOM ELEKTROSTATIČKE SEPARACIJE

Anja Biondić

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za rudarstvo i geotehniku
Pierottijeva 6, 10002 Zagreb

Sažetak

U današnje vrijeme EE otpad je postao veliki problem zbog sve većih količina, a njegovo zbrinjavanje briga je svih zemalja. Najveći problem predstavlja opasni otpad zbog svojih opasnih komponenti, koje štete okolišu i zdravlju ljudi. Najveće količine EE opreme obuhvaćaju mobilne telefone, kojih je sada već oko sedam milijardi, a svake godine se očekuje sve veća količina mobilnih telefona, od kojih će većina nakon korištenja biti odložena na odlagalište otpada. U radu su prikazane glavne karakteristike EE otpada, njegovo pravilno prikupljanje i recikliranje te očekivani trendovi EE otpada u budućnosti. Cilj je izdvojiti što veći udio korisne komponente odnosno metala iz mobilnih telefona, primjenom elektrostatičke separacije. Bolji rezultati dobiveni su separacijom sitnije klase 1/0,5 mm u odnosu na krupniju klasu 2/1 mm.

Ključne riječi: EE otpad, recikliranje, separacija, mobilni telefoni

Diplomski rad sadrži: 50 stranica, 14 tablica, 26 slika, i 26 referenci.
Jezik izvornika: hrvatski
Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, Zagreb
Voditelj: Dr. sc. Gordan Bedeković, redoviti profesor RGNF
Ocjenjivači: Dr. sc. Gordan Bedeković, redoviti profesor RGNF
Dr. sc. Ivan Sobota, docent RGNF
Dr. sc. Dalibor Kuhinek, docent RGNF
Datum obrane: 19. svibanj, 2017.

University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

Master's Thesis

REVIEW ON RECYCLING OF EE WASTE ALONG WITH RECYCLING METALS FROM MOBILE PHONES BY ELECTROSTATIC SEPARATION

Anja Biondić

Thesis completed in: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum engineering
Institute of Mining and Geotechnics
Pierottijeva 6, 10002 Zagreb

Abstract

At the present time the waste has become a big problem because of the large and growing quantity, and its management is the concern of all countries. The biggest problem is a hazardous waste due to its hazardous components, which are harmful to the environment and human health. The greatest amount of electrical and electronic equipment includes mobile phones which have been amount to over seven billion pieces so far and an increase of their number is to be expected every year, most of them ending up on waste disposal after being used. This paper describes the main characteristics of e-waste and its proper collecting and recycling, as well as the anticipated trends of e-waste disposal in the future. The objective is to separate the largest possible share of the useful component, i.e. metal, using the electrostatic separation. Better results were obtained by separation finer grain size of 1/0.5 mm than the coarser one (2/1 mm).

Keywords: WEEE, recycling, separation, cell phones

Thesis contains: 50 pages, 14 tables, 26 figures, and 26 references.
Original in: Croatian
Thesis deposited in: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, Pierottijeva 6, Zagreb
Supervisor: PhD Gordan Bedeković, Full Professor
Reviewers: PhD Gordan Bedeković, Full Professor
PhD Ivan Sobota, Assistant Professor
PhD Dalibor Kuhinek, Assistant Professor
Date of defense: May 19, 2017

SADRŽAJ

1. UVOD 1
2. EE OTPAD 2
3. KOLIČINE EE OTPADA U HRVATSKOJ I EUROPI 5
4. OPASNE TVARI U EE OTPADU 11
5. RECIKLIRANJE EE OTPADA 16
5.1. Ciljevi direktive EU 16
5.2 Iskustva u reciklaži EE otpada 17
5.3 Recikličnost EE – otpada 19
5.4. Recikličnost kao zahtijev pri konstruiranju 22
6. LABORATORIJSKA ISPITIVANJA 25
6.1. Korišteni uređaji i postupci 25
6.1.1. Udarna drobilica 25
6.1.2. Drobilica čekićara 26
6.1.3. Sita 27
6.1.4. Rezni mlin 28
6.1.5. Elektrostatički separator 29
6.2. Proces ispitivanja 31
6.2.1. Plastična kućišta 34
6.2.2. Tiskane pločice i integrirani krugovi 36
6.2.2.1. Elektrostatička separacija tiskanih pločica i integriranih krugova 38
7. REZULTATI I DISKUSIJA 40
7.1. Plastična kućišta 40
7.2. Tiskane pločice i integrirani krugovi 42
8. ZAKLJUČAK 47
9. LITERATURA 49

POPIS SLIKA

Slika 3.1 Sakupljene količine EE otpada u 2011. godini u RH (FZOEU, 2012) 6

Slika 3.2 Sakupljena masa (u tonama) EE otpada prema vrstama EE opreme u razdoblju od 2008. do 2011. godine (FZOEU, 2012)..... 8

Slika 3.3 Prikupljene količine EE otpada po stanovniku unutar zemalja članice EU 2010. godine (EUROSTAT 2011a)..... 9

Slika 4.1 Simbol precrtane kante za smeće na proizvodu, bateriji ili ambalažnom materijalu 11

Slika 5.1 Simbol za recikliranje..... 16

Slika 5.2 Rastavljanje EE otpada u firmi Flora Vtc (flora-vtc.hr, 2009)..... 18

Slika 5.3 Prosječni maseni udio materijala kod malih električnih kućnih aparata, radioaparata (Koellner i Fichtler, 1996) 20

Slika 5.4 Maseni udio materijala kod perilice rublja: Siemensov automatizirani stroj, Model 1979/80 (Beitz i Mayer, 1996)..... 20

Slika 6.1 Laboratorijska udarna drobilica IZ-0 (Bedeković i Salopek 2008)..... 26

Slika 6.2 Drobilica čekićara..... 27

Slika 6.3 Laboratorijska sita 28

Slika 6.4 Rezni mlin (Cutting Mill RETSCH SM 2000)..... 29

Slika 6.5 Elektrostatički separator Eriez Magnetics HT-150 30

Slika 6.6 Blok dijagram procedure izvođenja pokusa 31

Slika 6.7 Mobiteli na kojima je provedeno ispitivanje.....33

Slika 6.8 Baterije (lijevo) i gumene tipkovnice (desno).....33

Slika 6.9 Plastična kućišta.....34

Slika 6.10 Tiskane pločice i integrirani krugovi.....37

Slika 7.1 Granulometrijski sastav materijala nakon sitnjenja u udarnoj drobilici.....40

Slika 7.2 Klase plastičnih kućišta nakon sitnjenja u udarnoj drobilici (redom s lijeva na desno): +20 mm, 20/10 mm, 10/7 mm, 7/4 mm, -4 mm 41
Slika 7.3 Granulometrijski sastav materijala nakon drobilice čekićare..... 41
Slika 7.4 Klase plastičnih kućišta nakon sitnjenja u drobilici čekićari (redom s lijeva na desno): +4 mm, 4/3,15 mm, 3,15/2 mm, 2/1 mm, 1/0,5 mm, -0,5 mm..... 41
Slika 7.5 Granulometrijski sastav materijala nakon reznog mlina 42
Slika 7.6 Klase plastičnih kućišta nakon reznog mlina (redom s lijeva na desno): 4/3,15 mm, 3,15/2 mm, 2/1 mm, 1/0,5 mm, -0,5 mm 42
Slika 7.7 Dijagram masenog iskorištenja metala (I_m) u ovisnosti o faktoru *U/r* (odnosu napona i udaljenosti elektrode) za samljevene tiskane pločice klase 2/1 mm..... 44
Slika 7.8 Dijagram masenog iskorištenja metala (I_m) u ovisnosti o faktoru U/r (odnosu napona i udaljenosti elektrode) za samljevene tiskane pločice klase 1/0,5 mm..... 46

POPIS TABLICA

Tablica 3-1 Količine EE otpada u 2011. godini u RH (AZO, 2012) 5
Tablica 3-2 Sakupljene količine EE otpada u razdoblju od 2008. do 2011. godine u RH (FZOEU, 2012) 7
Tablica 3-3 Sakupljene količine EE otpada u EU u 2010. i 2011. godini (Važić, 2014) 10
Tablica 5-1 Kvantitativni ciljevi, odnosno stope oporabe i recikliranja EE opreme prema kategoriji EE opreme (Direktiva 2012/19/EU, 2012) 17
Tablica 5-2 Troškovi prerade EE otpada prema grupama (Filetin, 2009) 22
Tablica 5-3 Smjernice za recikličnost pojedinih grupa EE proizvoda (Pintarić, 2009) 24
Tablica 6-1 Mase mobilnih telefona i njegovih komponenti 32
Tablica 6-2 Granulometrijski sastav plastičnih kućišta nakon sitnjenja u udarnoj drobilici 35
Tablica 6-3 Granulometrijski sastav plastičnih kućišta nakon sitnjenja u drobilici čekićari 35
Tablica 6-4 Granulometrijski sastav plastičnih kućišta nakon sitnjenja u reznom mlinu ... 36
Tablica 6-5 Granulometrijski sastav tiskanih pločica i integriranih krugova nakon sitnjenja u drobilici čekićari 37
Tablica 6-6 Granulometrijski sastav tiskanih pločica i integriranih krugova nakon sitnjenja u reznom mlinu 38
Tablica 7-1 Rezultati elektrostatičke separacije koncentrata iz samljevenih tiskanih pločica i integriranih krugova klase 2/1 mm 43
Tablica 7-2 Rezultati elektrostatičke separacije koncentrata iz samljevenih tiskanih pločica i integriranih krugova klase 1/0,5 mm 45

POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I KRATICA

AZO	Agencija za zaštitu okoliša
FZOEU	Fond za zaštitu okoliša i energetsku učinkovitost
NN	Narodne novine
EE	Električna i elektronska oprema
EU	Europska Unija

M	Masa ulaznog materijala	(g)
K	Masa koncentrata	(g)
M_k	Masa korisne komponente u koncentratu	(g)
I_m	Iskorištenje mase koncentrata	(%)
K_k	Kvaliteta koncentrata	(%)
U/r	Odnost napona i udaljenosti elektrode	(kV/cm)

1. UVOD

Električni i elektronički otpad (EE otpad) je najbrže rastuća vrsta otpada, a time i problem odlaganja otpada u svijetu. Napredak tehnologije, potreba za boljim i bržim, učinila nas je društvom neodgovornim za posljedice zbrinjavanja toksičnih ili uporabljivih komponenti koje se mogu pridobiti daljnjom obradom (recikliranjem) EE otpada.

U posljednje vrijeme se sve više govori u javnosti o ovome problemu te Vlada i reciklažne tvrtke traže povrat neupotrebljivih uređaja kako bi se zaštitio okoliš, ponovno upotrijebio iskoristive komponente i smanjio konačan volumen otpada za odlagališta.

Specifični problem predstavljaju mobilni telefoni budući da se njihov broj sve više povećava zbog aktualnog praćenja trendova napretka tehnologije. U prosjeku svaki čovjek ima po jedan mobitel što s jednostavnim proračunom čini veliku količinu otpada koji se ne smije zanemariti. Plastika, bakar, željezo su samo neke od komponenti koje sačinjavaju mobitele a mogu ići u daljnju preradu, odnosno ponovnu uporabu. U ovom radu je prikazano kako se mobilni telefoni mogu rastaviti i kojim postupcima se mogu izvući vrijedne komponente što dovodi do brojnih pogodnosti; od uštede energije, doprinosa smanjenju onečišćenja okoliša (manja potreba za gradnjom odlagališta, smanjenje štetnih emisija u atmosferu), sve do otvaranja novih radnih mjesta.

Predmet ovog rada je analiza potrošnje EE uređaja i opreme te mogućnosti recikliranja EE otpada u Republici Hrvatskoj, EU kao i u ostatku svijeta. U tu svrhu prikupljeni su podaci o količinama električnog i elektroničkog otpada u svijetu i o utjecaju njihovih komponenti na okoliš. U nastavku se rad bazira na pronalaženju racionalnog procesa recikliranja i dobivanja sekundarnih sirovina koje se nalaze u mobilnim telefonima, primjenom elektrostatičke separacije.

U radu su prikazane glavne karakteristike EE otpada, njegovo pravilno prikupljanje i recikliranje te očekivani trendovi EE otpada u budućnosti. Cilj je izdvojiti što veći udio korisne komponente odnosno metala iz mobilnih telefona, primjenom elektrostatičke separacije. Bolji rezultati dobiveni su separacijom sitnije klase 1/0,5 mm u odnosu na krupniju klasu 2/1 mm.

2. EE OTPAD

Električni i elektronički uređaji i oprema (EE otpad) predstavljaju sve proizvode koji su za svoje pravilno djelovanje ovisni o električnoj energiji ili elektromagnetskim poljima, kao i oprema za proizvodnju, prijenos i mjerenje struje, te je namijenjena korištenju pri naponu koji ne prelazi 1000 V za izmjeničnu i 1500 V za istosmjernu struju.

Razlikujemo 10 vrsta EE opreme (AZO, 2014):

1. Veliki kućanski uređaji kao npr: električni štednjaci, strojevi za pranje rublja, hladnjaci;
2. Mali kućanski uređaji kao npr: usisavači, glačala, tosteri, uređaji za sušenje kose;
3. Oprema informatičke tehnike (IT) i oprema za telekomunikacije kao npr: računala, pisači, kopirna oprema, kalkulatori, telefoni, mobiteli;
4. Oprema široke potrošnje za razonodu kao npr: radio i TV aparati, videokamere, hi-fi uređaji, glazbeni instrumenti;
5. Rasvjetna oprema;
6. Električni i elektronički alati kao npr: bušilice, pile, šivaći strojevi;
7. Igračke, oprema za razonodu i športska oprema kao npr: videoigre, računala za biciklizam, ronjenje, trčanje, veslanje i sl.;
8. Medicinski uređaji kao npr: uređaji za dijalizu, kardiološki uređaji, analizatori, radioterapijska oprema;
9. Instrumenti za nadzor i upravljanje kao npr: detektori dima, termostati, instrumenti za nadziranje i sl.;
10. Samoposlužni aparati kao npr: automatski uređaji za izdavanje toplih napitaka, za izdavanje novca i sl.

Uređaji koji spadaju u određenu kategoriju:

1. Veliki kućanski uređaji: veliki rashladni uređaji, hladnjaci, ledenice, ostali veliki uređaji za hlađenje, konzerviranje i spremanje hrane, strojevi za pranje, sušilice rublja, strojevi za pranje posuđa, kuhinjske peći, električni štednjaci, električne ploče za grijanje, mikrovalni uređaji, ostali veliki uređaji za kuhanje i ostalu pripremu hrane, električni uređaji za grijanje, električni radijatori, ostali veliki uređaji za grijanje soba, kreveta i namještaja za

sjedenje, električni ventilatori, klima-uređaji, ostali uređaji za ventilaciju, odzračivanje i klimatizaciju.

2. Mali kućanski uređaji: usisavači, uređaji za čišćenje tepiha, ostali uređaji za čišćenje, uređaji za šivanje, pletenje, tkanje i ostalu obradu tkanine, glačala i ostali uređaji za glačanje, izažimanje i drugo uređivanje odjeće, tosteri, pržilice, mlinci, aparati za kavu i uređaji za otvaranje i zatvaranje spremnika i pakiranja, električni noževi, uređaji za šišanje, sušenje kose, pranje zubi, brijanje, masiranje i ostali uređaji za njegu tijela, satovi, ručni satovi i uređaji za mjerenje, pokazivanje i zapisivanje vremena, vage.

3. Oprema informatičke tehnike (IT) i oprema za telekomunikacije, razne vrste računala: velika računala, mini računala, osobna računalna oprema: osobna računala (CPU, miš, zaslon i tipkovnica), računala »laptop« (CPU, miš, zaslon i tipkovnica), prijenosna računala (»notebook«, »notepad«, tablet), pisači, kopirna oprema, električni i elektronički pisaći strojevi, džepni i stolni kalkulatori i ostali proizvodi ili oprema za prikupljanje, spremanje, obradu i predstavljanje podataka ili komuniciranje podacima, korisnički terminali i sustavi, faks-uređaji, teleks-uređaji, telefoni, telefoni s karticama i kovanicama, bežični telefoni, mobilni telefoni, sustavi odgovora na poziv, ostali proizvodi ili oprema za telekomunikacijski prijenos zvuka, slika ili drugih podataka.

4. Oprema široke potrošnje: radioaparati, televizijski aparati, videokamere, videorekorderi, hi-fi-uređaji, radio pojačala, glazbeni instrumenti, ostali proizvodi ili oprema za snimanje ili reprodukciju zvuka ili slike, ili druge tehnologije, osim telekomunikacijskih, za raspodjelu zvuka i slike.

5. Rasvjetna oprema: rasvjetna tijela za fluorescentne žarulje, osim žarulja za kućanstvo, ravne fluorescentne žarulje, kompaktne fluorescentne žarulje, žarulje s izbijanjem, uključujući visokotlačne žarulje s natrijevim parama i žarulje s metalnim parama, niskotlačne natrijeve žarulje, ostala rasvjetna oprema ili oprema za širenje ili upravljanje svjetla, osim žarulja sa žarnom niti.

6. Električni i elektronički alati (osim velikih nepokretnih industrijskih alata): bušilice, pile, šivaći strojevi, oprema za okretanje, mljevenje, brušenje, poliranje, piljenje, rezanje, sječenje, bušenje, prošupljivanje, probijanje, previjanje, savijanje ili za sličnu obradu

drveta, metala i drugih materijala, alati za zakivanje, spajanje čavlima, spajanje vijcima, alati za skidanje zakovica, čavala ili vijaka ili za slične namjene, alati za zavarivanje, lemljenje i sličnu uporabu, oprema za prskanje, nanošenje, raspršivanje i ostalu drukčiju obradu tekućih ili plinovitih tvari, alati za košenje ili za druge vrtne poslove.

7. Igračke, oprema za razonodu i športska oprema: električni kompleti s tračnicama ili automobilima, ručne konzole za videoigre, videoigre, računala za biciklizam, ronjenje, trčanje, veslanje itd., športska oprema s električnim ili elektroničkim komponentama, automati s kovanicama za igranje.

8. Medicinski uređaji (osim implantiranih uređaja): radioterapijska oprema, kardiološki uređaji, uređaji za dijalizu, plućni ventilatori, uređaji nuklearne medicine, laboratorijska oprema za dijagnostiku in vitro, analizatori, ledenice, uređaji za ispitivanje oplodnje, ostali uređaji za otkrivanje, sprječavanje, nadgledanje, obradu, ublaživanje bolesti, povreda ili nemoći.

9. Instrumenti za nadzor i upravljanje: detektori dima, regulatori grijanja, termostati, uređaji za mjerenje, vaganje ili ugađanje za kućanstvo ili laboratorije, ostali instrumenti za nadziranje i upravljanje koji se upotrebljavaju u industrijskim instalacijama (npr. na kontrolnim pločama).

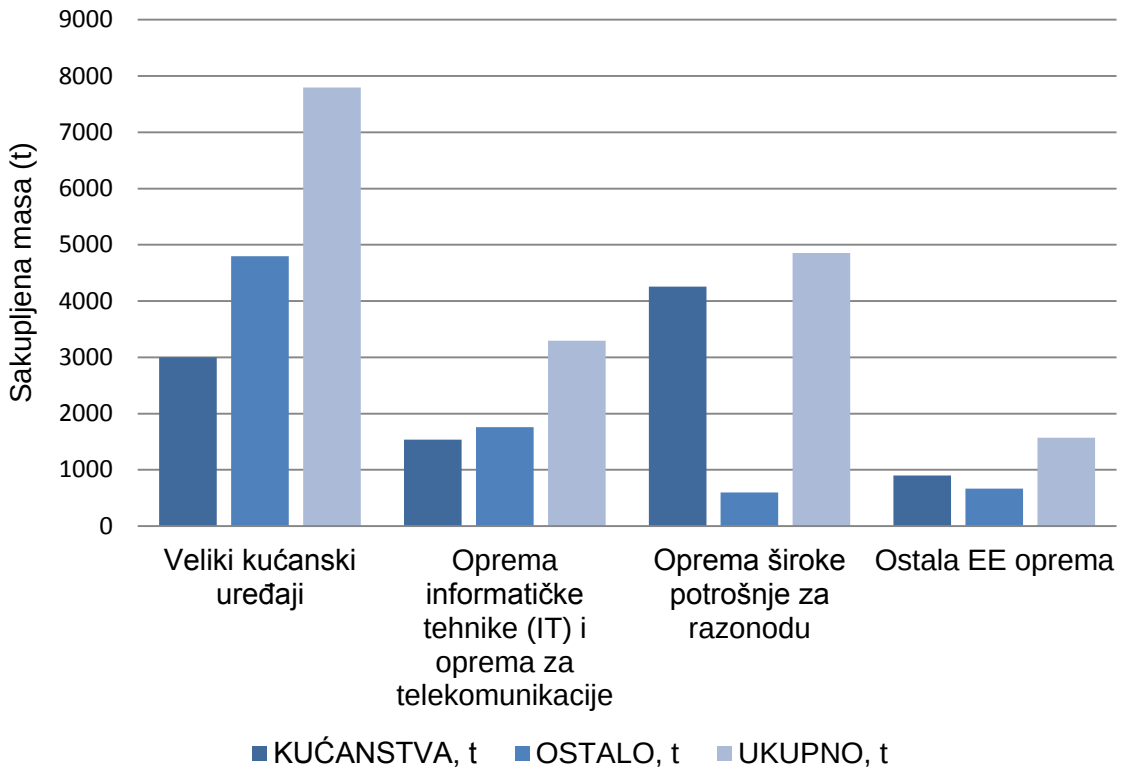
10. Samoposlužni aparati: automatski uređaji za izdavanje toplih napitaka, automatski uređaji za izdavanje toplih i hladnih boca ili kutija, automatski uređaji za izdavanje čvrstih proizvoda, automatski uređaji za izdavanje novca, svi uređaji koji automatski izdaju sve vrste proizvoda.

3. KOLIČINE EE OTPADA U HRVATSKOJ I EUROPI

U tablici 3-1 i na slici 3-1 prikazana je količina sakupljenog EE otpada 2011. godine u Republici Hrvatskoj, a u tablici 3-2 i na slici 3-2 u razdoblju od 2008. do 2011. godine. Kao što se vidi iz tablica, u 2011. godini, od kućanstava i ostalih posjednika, sakupljeno je ukupno 17 518,38 tona EE otpada. Podaci su dobiveni sa web stranica Agencije za Zaštitu Okoliša (AZO).

Tablica 3-1 Količine EE otpada u 2011. godini u RH (AZO, 2012)

EE OTPAD PREMA VRSTI EE OPREME		**KUĆANSTVA, t**	**OSTALO, t**	**UKUPNO, t**	**UDIO, %**
1.	Veliki kućanski uređaji	3 001,40	4 795,36	7 796,76	44,51
2.	Mali kućanski uređaji	249,86	85,70	335,56	1,92
3.	Oprema informatičke tehnike (IT) i oprema za telekomunikacije	1 539,17	1 757,30	3 296,47	18,82
4.	Oprema široke potrošnje za razonodu	4 258,63	596,74	4 855,37	27,72
5.	Rasvjetna oprema	24,07	109,33	133,4	0,76
6.	Električni i elektronički alati (osim velikih nepokretnih industrijskih alata)	591,01	130,47	721,47	4,12
7.	Igračke, oprema za razonodu i sportska oprema	19,09	48,91	68,00	0,39
8.	Medicinski uređaji (osim implantiranih uređaja)	3,82	46,14	49,96	0,29
9.	Instrumenti za nadzor i upravljanje	4,58	115,63	120,22	0,69
10.	Samoposlužni aparati	9,36	131,8	141,17	0,81
UKUPNO, t		**9 700,99**	**7 817,39**	**17 518,38**	**100,00 %**

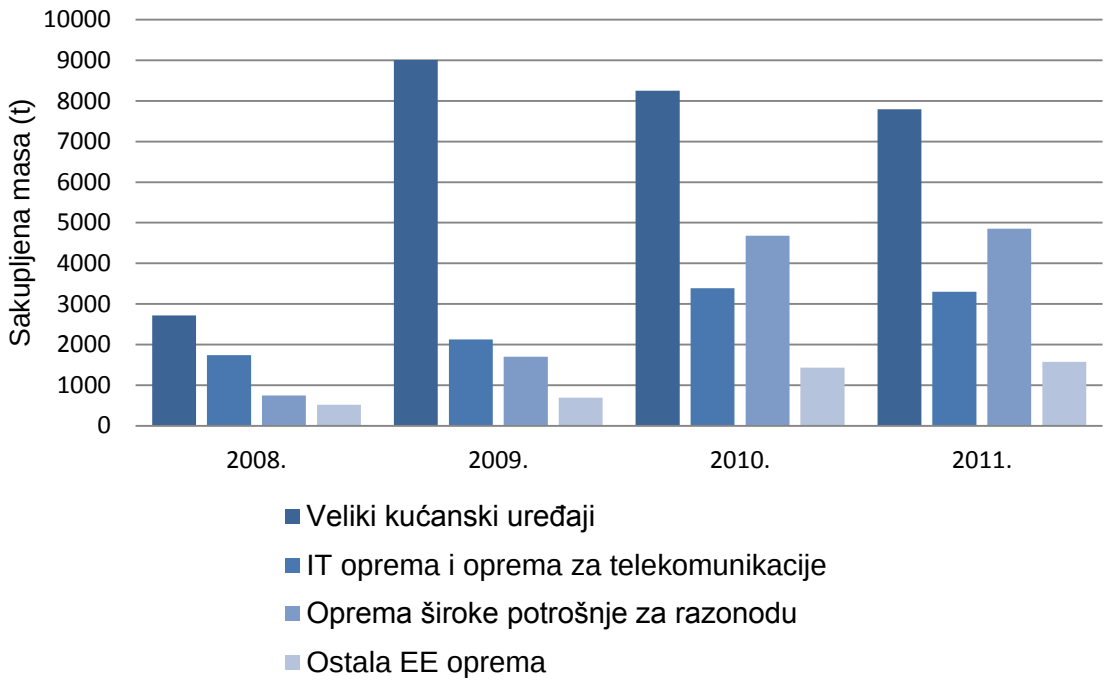


Slika 3-1 Sakupljene količine EE otpada u 2011. godini u RH (FZOEU, 2012)

Najveći maseni udio čine veliki kućanski aparati, a slijedi ih oprema široke potrošnje za razonodu i IT oprema. Količine ostalog EE otpada u 2011. godini prema vrsti EE opreme slične su količini od prethodne godine, čiji prikaz se može vidjeti na slici 3-2. Do 31.12.2015. godine cilj odvojenog sakupljanja EE otpada iz kućanstava iznosio je 4 kg po stanovniku godišnje ili jednaka masa EE otpada koja je u prosjeku bila sakupljena u Republici Hrvatskoj u prethodne tri godine.

Tablica 3-2 Sakupljene količine EE otpada u razdoblju od 2008. do 2011. godine u RH (FZOEU, 2012)

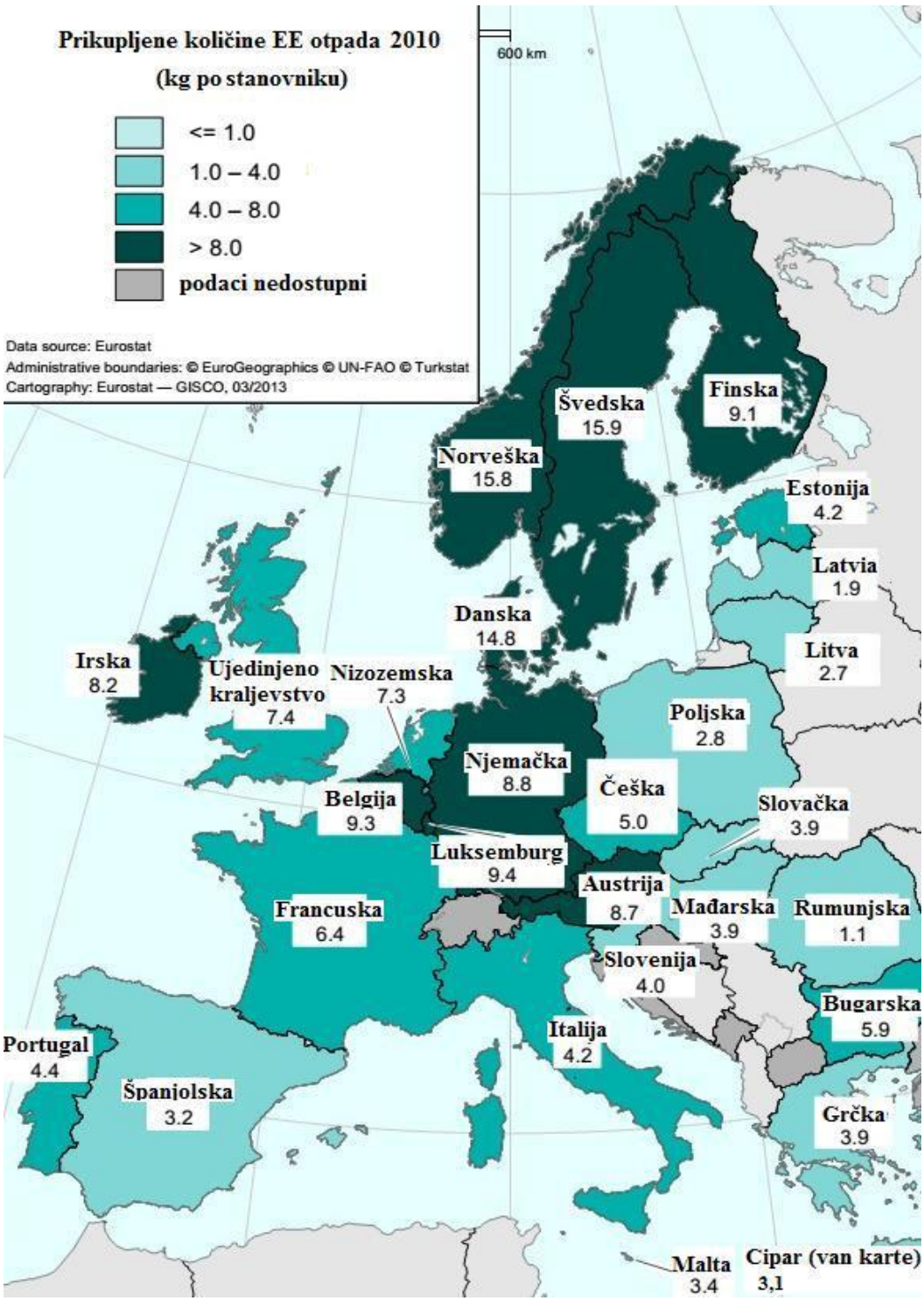
EE OTPAD PREMA VRSTI EE OPREME		SAKUPLJENE KOLIČINE EE OTPADA, t			
		2008.	**2009.**	**2010.**	**2011.**
1.	Veliki kućanski uređaji	2 719,98	9 011,11	8 254,20	7 796,76
2.	Mali kućanski uređaji	83,60	114,01	356,30	335,56
3.	Oprema informatičke tehnike (IT) i oprema za telekomunikacije	1 736,89	2 121,83	3 384,14	3 296,47
4.	Oprema široke potrošnje za razonodu	743,60	1 698,65	4 678,17	4 855,37
5.	Rasvjetna oprema	104,05	88,12	111,5	133,4
6.	Električni i elektronički alati (osim velikih nepokretnih industrijskih alata)	24, 94	196,35	655,03	721,47
7.	Igračke, oprema za razonodu i športska oprema	5,75	67,32	104,59	68,00
8.	Medicinski uređaji (osim implantiranih uređaja)	21,23	43,37	44,19	49,96
9.	Instrumenti za nadzor i upravljanje	50,71	58,71	81,16	120,22
10.	Samoposlužni aparati	227,82	122,48	78,35	141,17
UKUPNO, t		**5 718,56**	**13 521,94**	**17 747,63**	**17 518,38**



Slika 3-2 Sakupljena masa (u tonama) EE otpada prema vrstama EE opreme u razdoblju od 2008. do 2011. godine (FZOEU, 2012)

Od 2016. godine cilj odvojenog sakupljanja je postizanje stope od 45 % izračunato na temelju ukupne mase EE sakupljenog iz kućanstava i registriranih osoba u promatranoj godini u Republici Hrvatskoj, izražene u obliku postotka prosječne mase EE opreme stavljene na tržište u prethodne tri godine, uz postepeno povećanje do 2019. godine.

Od 2019. godine cilj odvojenog sakupljanja je postizanje stope od 65 % izračunato na temelju ukupne mase EE otpada sakupljenog iz kućanstava i registriranih osoba u promatranoj godini u Republici Hrvatskoj, izražene u obliku postotka prosječne mase EE opreme stavljene na tržište u prethodne tri godine ili 85 % nastalog EE otpada. (izvor: Pravilnik o gospodarenju otpadnom električnom i elektroničkom opremom, NN 42/2014)



Slika 3-3 Prikupljene količine EE otpada po stanovniku unutar zemalja članice EU 2010. godine (EUROSTAT 2011a)

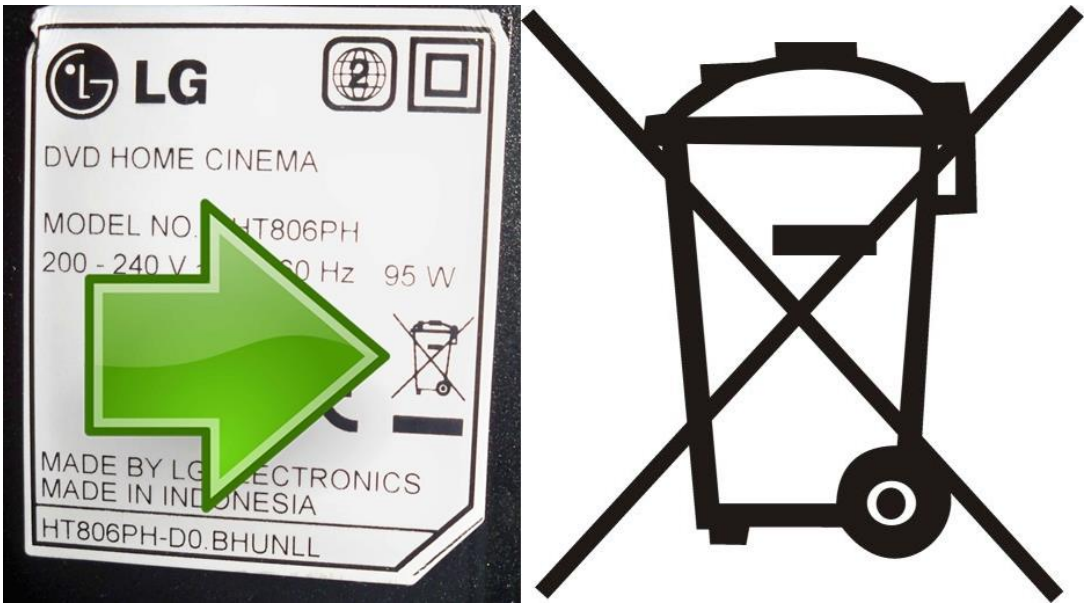
Količne sakupljenog EE otpada na nivou Europe prikazane su u tablici 3-3 (Važić, 2014). Većina zemalja je ostvarila cilj odvojenog sakupljanja otpada od 4 kg po stanovniku propisano Direktivom 2002/96/EC (Važić, 2014).

Tablica 3-3 Sakupljene količine EE otpada u EU u 2010. i 2011. godini (Važić, 2014)

ZEMLJA	2010.		2011.	
	SAKUPLJENE KOLIČINE OTPADA, t	kg/ stanovniku	SAKUPLJENE KOLIČINE OTPADA, t	kg/ stanovniku
Austrija	70 846	8	72 482	9
Belgija	101 772	9	113 091	10
Češka	54 600	3	55 070	5
Danska	72 450	13	77 738	14
Estonija	5 600	4	-	-
Finska	50 866	9	-	-
Francuska	416 953	6	447 828	7
Grčka	46 191	4	41 871	4
Irska	37 569	9	34 954	8
Italija	245 351	4	260 090	4
Latvija	-	-	4 641	2
Litva	9 300	3	11 606	4
Luksemburg	4 683	9	4 887	10
Mađarska	46 604	5	-	-
Nizozemska	126 902	8	130 300	8
Norveška	136 327	28	146 740	30
Njemačka	461 890	7	372 310	7
Poljska	113 287	3	170 000	4
Portugal	46 672	4	55 754	5
Rumunjska	24 000	1	21 350	1
Slovačka	22 165	4	-	-
Slovenija	8 674	4	9 100	4
Španjolska	150 678	3	155 457	3
Švedska	150 400	16	160 000	17
Švicarska	129 400	17	134 838	17
Velika Britanija	478 827	8	518 000	8

4. OPASNE TVARI U EE OTPADU

Zbog opasnih tvari koje su sadržane u električnim i elektroničkim uređajima, EE otpad je klasificiran kao opasni otpad (izvor: Pravilnik o gospodarenju otpadnom električnom i elektroničkom opremom, NN 42/2014) i ne smije završiti u komunalnom otpadu, te se mora skupljati odvojeno od ostalog otpada.



Slika 4-1 Simbol precrtane kante za smeće na proizvodu, bateriji ili ambalažnom materijalu

Simbol precrtane kante (slika 4-1) za smeće na proizvodu, bateriji ili ambalažnom materijalu označava da se svi električni i elektronički proizvodi, baterije i akumulatori po isteku vijeka trajanja moraju odložiti na odvojeno odlagalište. Ako je ispod oznake otisnut kemijski simbol, to naznačuje da navedeni proizvod (električna i elektronička oprema, baterije (akumulatori) sadrže teški metal (živu, kadmij ili olovo) u koncentraciji iznad prihvatljive granice navedene u Direktivi (Pravilnik o baterijama i akumulatorima i otpadnim baterijama i akumulatorima, NN 111/2015).

Procjena je da se u EE otpadu javlja oko 1000 različitih materijala. U izradi elektroproizvoda se koriste metali i legure (željezo, bakar, aluminij i dr.), polimeri (poliester, poliamid, epoksid, polivinilklorid, ABS i dr.), anorganski materijali (staklo, keramika i dr.), zatim drvo, papir i karton, ali i vezani materijali (kompoziti, bimetali i dr.). Za neke funkcije se koriste po okoliš i čovjeka opasne tvari (azbest, teški metali, halogeni

spojevi i dr.). Iako maseni udjeli materijala zavise o vrsti proizvoda prednjače metali i polimeri.

Prema Pravilniku o ograničavanju uporabe određenih opasnih tvari u električnoj i elektroničkoj opremi (NN 131/2013), navedene su maksimalne dopuštene vrijednosti masenih koncentracija opasnih tvari u homogenim materijalima:

Olovo (0,1 %),
Živa (0,1 %),
Kadmij (0,01 %),
Šesterovalentni krom (0,1 %),
Polibromirani bifenili (PBB) (0,1 %),
Polibromirani difenileteri (PBDE) (0,1 %),

U istom pravilniku (u članku 4. te Prilogu III i IV pravilnika), navedene su i primjene izuzete od gore navedenih ograničenja. Neke od izuzetih primjena su:

1. Živa u (kompaktnim) fluorescentnim žaruljama s jednim podnoškom, koja, (po cijevi ispunjenoj plinom), ne premašuje:

a) Za opće primjene osvjetljenja < 30 W: 5 mg
b) Za opće primjene osvjetljenja ≥ 30 W i < 50 W: 5 mg
c) Za opće primjene osvjetljenja ≥ 50 W i < 150 W: 5 mg
d) Za opće primjene osvjetljenja ≥ 150 W: 15 mg
e) Za opće primjene osvjetljenja, okrugle ili kvadratne strukture i promjera cijevi ≤ 17 mm
f) Za posebne primjene: 5 mg

2. Živa u linearnim fluorescentnim žaruljama s dva podnoška za opće primjene osvjetljenja koja, (po žarulji), ne premašuje:

a) Trokrake fosforne s normalnim životnim vijekom i promjerom cijevi< 9 mm (npr. T2): 5 mg
b) Trokrake fosforne s normalnim životnim vijekom i promjerom cijevi ≥ 9 mm i ≤ 17 mm (npr. T5): 5 mg
c) Trokrake fosforne s normalnim životnim vijekom i promjerom cijevi > 17 mm i ≤ 28 mm (npr. T8): 5 mg

d) Trokrake fosforne s normalnim životnim vijekom i promjerom cijevi> 28 mm (npr. T12): 5 mg
e) Trokrake fosforne s dugim životnim vijekom (≥ 25 000 h): 8 mg

3. Živa u drugim fluorescentnim žaruljama, koja, (po žarulji), ne premašuje:

a) Nelinearne trokrake fosforne žarulje s promjerom cijevi > 17 mm (npr. T9)
b) Žarulje za druge opće primjene osvjetljenja i posebne primjene (npr. indukcijske žarulje)

4. Živa u fluorescentnim žaruljama s hladnim katodama i fluorescentnim žaruljama s vanjskom elektrodom, (CCFL i EEFL), za posebne primjene, koja, (po žarulji), ne premašuje:

a) Kratke (≤ 500 mm)
b) Srednje duge (> 500 mm i ≤ 1 500 mm)
c) Duge (> 1 500 mm)

5. Živa u drugim niskotlačnim žaruljama s izbijanjem (po žarulji)

6. Živa u visokotlačnim natrijevim žaruljama za opće primjene osvjetljenja, koja u žaruljama s poboljšanim indeksom uzvrata boja Ra > 60, (po plinom punjenoj cijevi), ne premašuje:

a) P ≤ 155 W
b) 155 W < P ≤ 405 W
c) P > 405 W

7. Živa u drugim visokotlačnim natrijevim žaruljama za opće primjene osvjetljenja, koja, (po plinom punjenoj cijevi), ne premašuje:

a) P ≤ 155 W
b) 155 W < P ≤ 405 W
c) P > 405 W

8. Živa u žaruljama s metalnim parama (MH)

9. Olovo u staklu katodnih cijevi

10. Olovo u staklu fluorescentnih žarulja, s masenim udjelom olova do 0,2 %

11. Olovo kao element u čeličnim legurama za potrebe strojne obrade i u galvaniziranom čeliku s masenim udjelom olova do 0,35 %

12. Olovo kao element u aluminijskim legurama, s masenim udjelom olova do 0,4 %

13. Bakrene legure s masenim udjelom olova do 4 %

14. Olovo u lemovima s visokim temperaturama taljenja (npr. u olovnim legurama, s masenim udjelom olova 85 % ili više)

15. Olovo u lemovima za servere, uređaje za pohranu i sustave polja diskova za pohranu, mrežnu infrastrukturnu opremu za komutaciju (prespajanje), signalizaciju i prijenos te za mrežno upravljanje telekomunikacijama

16. Električne i elektroničke komponente koje olovo sadrže u staklu ili keramici, izuzimajući dielektričnu keramiku u kondenzatorima, npr. u piezoelektroničkim uređajima, ili u staklu ili keramičkim matričnim spojevima

17. Olovo u dielektričnoj keramici u kondenzatorima za nazivni napon od 125 V AC ili 250 DC ili više

18. Kadmij i njegovi spojevi u električnim kontaktima

19. Šesterovalentni krom kao antikorozivno sredstvo u rashladnim sustavima od ugljičnog čelika u apsorpcijskim hladnjacima, s masenim udjelom u rashladnoj otopini do 0,75 %

20. Olovo u blazinicama i košuljicama ležajeva za kompresore s rashladnim sredstvom za uređaje za grijanje, klimatizaciju i hlađenje (HVACR)

21. Olovo korišteno u sustavima pinskih konektora tipa C-press (dopušteno ga je koristiti u rezervnim dijelovima EEO-a stavljene na tržište prije 24. rujna 2010.)

22. Olovo kao prekrivni materijal modulnih C-prstenova za termičko provođenje koji sadrže olovo (dopušteno ga je koristiti za rezervne dijelove EEO-a, stavljene na tržište prije 24. rujna 2010.)

23. Olovo u bijelom staklu za optičke primjene

24. Kadmij i olovo u filtarskom staklu i staklu korištenom za standarde reflektance

25. Olovo u lemovima za kompletiranje održivog električnog kontakta između poluvodičke pločice i nosača u integriranom krugu sklopova »flip chip«

26. Olovni halid kao sredstvo za isijavanje u žaruljama s izbijanjem jakog intenziteta, (HID), koje se koriste za profesionalne reprografijske primjene

27. Olovo kao aktivator u fluorescentnom prahu, (s masenim udjelom olova od 1 % ili manje), u žaruljama s izbijanjem koje se koriste u solariju i sadrže fosfor, kao npr. BSP ($BaSi_2O_5$:Pb)

28. Olovo i kadmij u tiskarskim tintama za nanašanje emajla na staklo kao što je borosilikatno ili natrij-kalcij-silikatno staklo

29. Olovo u završnim premazima za komponente s malim razmakom, osim konektora s razmakom od 0,65 mm ili manje (dopušteno ga je koristiti u rezervnim dijelovima EEO-a stavljene na tržište prije 24. rujna 2010.)

30. Olovo u lemovima za lemljenje diskoidalnih i ravnih višeslojnih keramičkih kondenzatora s izvodima

31. Olovni oksid u strukturnim elementima zaslona koji emitiraju elektrone površinskim vođenjem, (SED), posebno u friti za brtvljenje i u prstenu od frite

32. Olovo vezano u kristalnom staklu, kako je definirano u Prilogu I. (kategorije 1., 2., 3. i 4.) Direktive Vijeća 69/493/EEZ (1)

33. Legure kadmija kao električni/mehanički lemovi za električne vodiče, koji se koriste za direktne spojeve na titrajnoj zavojnici u pretvornicima jakih zvučnika s razinama zvučnog tlaka od 100 dB (A) i više

34. Olovo u materijalima za lemljenje u plosnatim fluorescentnim žaruljama bez žive (koje se npr. koriste za zaslone s tekućim kristalima, dekorativnu ili industrijsku rasvjetu)

35. Olovni oksid u friti za brtvljenje koja se koristi za izradu prozorskih sklopova za argonske i kriptonske laserske cijevi

36. Olovo u lemovima za lemljenje tankih bakrenih žica promjera 100 μm i manje u električnim transformatorima

37. Olovo u metalno-keramičkim elementima trimer potenciometra

38. Olovo u površinskoj prevlaci tijela visokonaponskih dioda od cink-boratnog stakla

39. Kadmij i kadmijev oksid u debeloslojnim ljepilima koja se koriste na berilijevom oksidu vezanom aluminijem

40. Olovo u lemu i završnim obradama električnih i elektroničkih komponenti i obradama tiskanih pločica koje se koriste u modulima paljenja i drugim sustavima kontrole za električne i elektroničke motore s unutarnjim izgaranjem koji zbog tehničkih razloga moraju biti postavljeni izravno na ili u kućište ili cilindar ručnih motora s unutarnjim izgaranjem.

5. RECIKLIRANJE EE OTPADA

5.1. Ciljevi direktive EU

EU je usvojila zakonsko rješenje – Direktivu 2012/19/EU o otpadnoj električnoj i elektroničkoj opremi – kako bi spriječila generiranje otpadne EE opreme i potaknula njezino ponovno korištenje, recikliranje (slika 5-1) i druge oblike oporabe, s ciljem smanjenja količine takvog otpada koji završava na odlagalištima. Ciljevi se namjeravaju postići kroz širok raspon mjera, kao što su odvojeno prikupljanje, osiguravanje odgovornosti proizvođača, obrada otpadne EE opreme, kao i kroz pružanje informacija.



Slika 5-1 Simbol za recikliranje

Slično drugim posebnim tokovima otpada, gospodarenje otpadnom EE opremom zasniva se na načelu odgovornosti proizvođača. Od proizvođača otpada zahtijeva se da obrađuju otpad primjenjujući najbolju dostupnu obradu, sukladno tehničkim zahtjevima i specifikacijama dozvole za obradu otpada. Nadalje, do 31. prosinca 2008. godine određeno je postizanje posebnih stopa oporabe, ponovnog korištenja i recikliranja otpada na temelju prosječne težine po aparatu, kako slijedi u nastavku (tablica 5-1).

Direktiva kategorizira EE opremu u 10 grupa, sa sljedećim ciljnim vrijednostima koje se moraju postići za oporabu i recikliranje.

Tablica 5-1 Kvantitativni ciljevi, odnosno stope oporabe i recikliranja EE opreme prema kategoriji EE opreme (Direktiva 2012/19/EU, 2012)

Vrsta	Kategorije EE opreme	Oporaba (% mase)	Ponovno korištenje i recikliranje (% mase)
1	Veliki kućanski aparati	85	80
10	Automatski uređaji za doziranje		
3	IT i telekomunikacijska oprema	80	70
4	Elektronička oprema široke potrošnje (radio, TV, hi-fi, VCR itd.)		
2	Mali kućanski aparati	75	55
5	Oprema za rasvjetu		
6	Električni i elektronički alati (uz iznimku velikih stacionarnih industrijskih alata)		
7	Igračke, oprema za slobodno vrijeme i sport		
9	Instrumenti za nadzor		
	Svjetiljke s plinskom tehnologijom		80
8	Medicinski uređaji	75	55

5.2 Iskustva u reciklaži EE otpada

Zakonodavstvo EU-a koje ograničava korištenje opasnih tvari u EE opremi, te koje potiče prikupljanje i recikliranje takve opreme, na snazi je od kolovoza 2004. godine. Prema izvješćima (Regionalni centar zaštite okoliša, 2009), više od četiri godine kasnije u skladu s tim zakonskim odredbama obrađuje se tek približno jedna trećina EE otpada, dok preostale dvije trećine završavaju na odlagalištima, te potencijalno na lokacijama za obradu koje ne ispunjavaju tražene standarde, a nalaze se u Europskoj uniji ili izvan nje (slika 5-2).

Osim zbog gubitka vrijednih sekundarnih sirovina, to je naročito zabrinjavajuće zbog činjenice da neodgovarajuće obrađeni proizvodi predstavljaju velik rizik za okoliš i zdravlje. Ilegalna trgovina prema zemljama koje nisu članice EU-a i dalje je raširena.

Štoviše, u EU-u je otkriven niz EE proizvoda koji nisu sukladni ograničenjima u vezi s korištenjem pojedinih tvari. Pokazalo se kako tržišni subjekti i nadležna tijela teško osiguravaju provedbu zakonodavstva o EE opremi. Komisija predlaže mjere kako bi se razriješile te poteškoće i kako bi se smanjio trošak stupanja na snagu izmijenjenih direktiva.



Slika 5-2 Rastavljanje EE otpada u firmi Flora Vtc (flora-vtc.hr, 2009)

Direktiva 2012/19/EU o otpadnoj EE opremi, čije su odredbe prenijete i u hrvatski Pravilnik o gospodarenju otpadnom električnom i elektroničkom opremom (NN 42/2014), određuje novu obvezujuću ciljnu vrijednost za prikupljanje EE opreme. Sadašnja ciljna vrijednost od 4 kg po osobi godišnje ne odražava na odgovarajući način situaciju u pojedinim državama članicama. Za neke države članice, u kojima je potrošnja EE opreme široko rasprostranjena, prema spomenutoj bi direktivi vrijedile ambicioznije ciljne vrijednosti, dok bi druge zemlje, s manjim tržištima, trebale ispuniti manje ambiciozne ciljne vrijednosti. Komisija predlaže da se ciljne vrijednosti diferenciraju na način da se odrede obvezne ciljne vrijednosti za prikupljanje u iznosu od 65 % prosječne težine električne i elektroničke opreme stavljene na tržište tijekom dvije prethodne godine u svakoj pojedinoj državi članici. Ciljne vrijednosti za recikliranje i oporabu takve opreme trenutno uključuju ponovno korištenje čitavih aparata, a ciljne vrijednosti definirane na

temelju težine povećat će se za 5 %. Također se predlaže određivanje ciljnih vrijednosti za oporabu medicinskih uređaja.

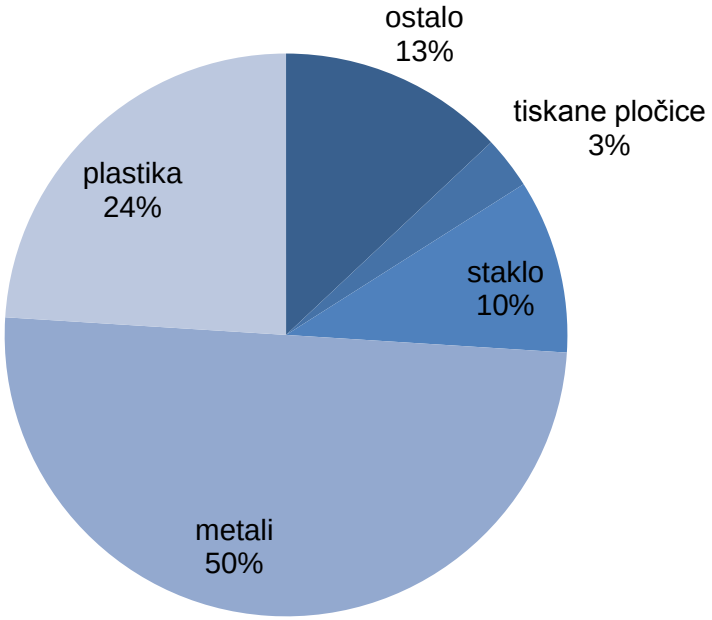
Procjenjuje se da u Hrvatskoj godišnje nastaje 30 000 do 45 000 tona ovakvog otpada, odnosno od 6,67 do 10,11 kilograma po stanovniku, te da njegove količine rastu oko 10 % godišnje (Regionalni centar zaštite okoliša, 2009). Gospodarenje ovom vrstom otpada u skladu s Pravilnikom o gospodarenju električnim i elektroničkim uređajima i opremom (NN 42/2014) pridonosi zbrinjavanju opasnih komponenata EE otpada na odgovarajući način, kao i iskorištenju upotrebljivih dijelova EE otpada, odnosno smanjenju iskorištenja prirodnih resursa što je vrlo važan podatak ako se zna da je EE otpad najbrže rastuća vrsta otpada.

U Hrvatskoj je cilj uspostava sustava gospodarenja otpadnom EE opremom koji bi rezultirao godišnjim prikupljanjem najmanje četiri kilograma po stanovniku EE otpada iz kućanstava, dok se do 2015. godine planirala oporaba od 70 do 80 % i recikliranje od 50 do 80 % EE otpada. Hrvatski model omogućuje građanima da pozovu ovlaštenog sakupljača koji će besplatno preuzeti aparate ukupne težine preko 30 kilograma. Naknada koju plaćaju tvrtke koje električnu i elektroničku opremu i uređaje stavljaju na tržište iznosi 2,25 kuna po kilogramu te sadrži naknadu sakupljačima po kilogramu sakupljenog otpada, te naknadu obrađivačima po kilogramu obrađenog otpada, što znači da se sva prikupljena sredstva ulažu u gospodarenje otpadom (Regionalni centar zaštite okoliša, 2009).

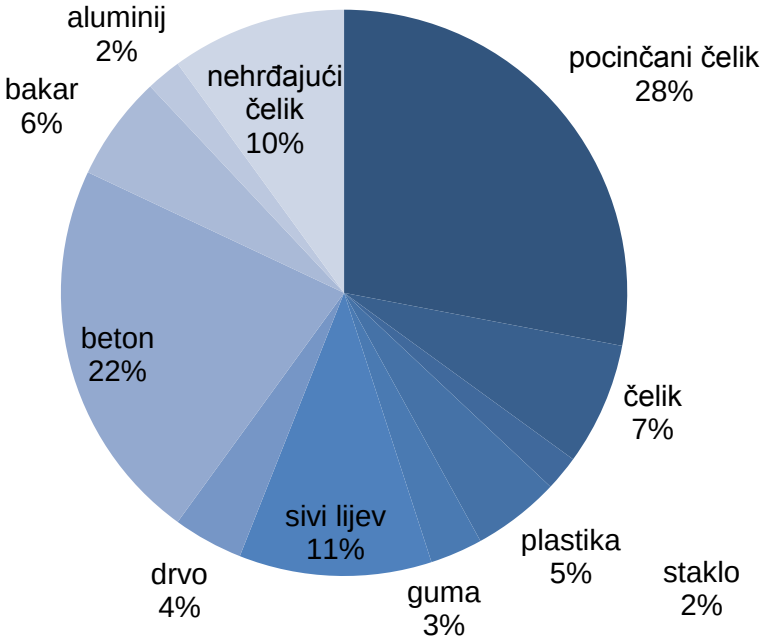
5.3 Recikličnost EE – otpada

Na rješavanju problema recikliranja EE otpada najdalje se odmaklo u Njemačkoj. Postupnim uvođenjem Propisa o zbrinjavanju EE otpada, te koordiniranim aktivnostima proizvođača, trgovine i potrošača ustrojen je sustav prerade EE otpada čiji je cilj smanjenje opterećenja okoliša u svim fazama životnog vijeka proizvoda. Zadaća zbrinjavanja otpada je ponovna uporaba iskoristivog dijela otpada kao i izdvajanje opasnih tvari. Od opasnih tvari valja spomenuti poliklorirani bifenil (PCB) koji se koristi npr. kao dielektrik u kondenzatorima, klorofluorougljikovodik (CFC) kao rashladno sredstvo, teške metale u baterijama (živa, kadmij, mangan, nikal, olovo i dr.), dijelove tekućih kristala (LCD),

opasne tvari u premazima ekranskih cijevi, haloni koji se koriste kao dodaci polimerima zbog postizanja samogasivosti, te razni drugi. Kod prerade otpada osobito je važno izdvajanje elemenata koji sadrže opasne tvari i njihovo zbrinjavanje na propisani način.



Slika 5-3 Prosječni maseni udio materijala kod malih električnih kućnih aparata, radioaparata (Koellner i Fichtler, 1996)



Slika 5-4 Maseni udio materijala kod perilice rublja: Siemensov automatizirani stroj, Model 1979/80 (Beitz i Mayer, 1996)

Gruba je procjena da u EE otpadu ima oko 10 % funkcionalno ispravnih dijelova, 5 % je moguće obnoviti i ponovno upotrijebiti, a ostalih 85 % se mora rastaviti i razvrstati, te materijalno iskoristiti (slika 5-3 i slika 5-4). Smatra se da nije opravdano daljnje korištenje ispravnih dijelova i sklopova odbačenih uređaja koji su stariji od tri godine (Pintarić, 2009).

Problemi koji se javljaju u preradi EE otpada proizlaze iz rasprostranjenosti proizvoda na tržištu (otežano prikupljanje), raznovrsnosti tipova i proizvođača istovrsnih proizvoda, te neprikladnosti proizvoda za recikliranje. Recikliranje velikih uređaja je olakšano zbog manje raznovrsnosti materijala i lakšeg izdvajanja (stupanj iskoristivosti je i do 85 %). Kod malih aparata (televizori, radioaparati, Hi-Fi uređaji, video i sl.) preradu otežavaju velika raznovrsnost materijala, izvedba i specifičnosti pojedinih proizvođača.

Za recikliranje su posebno neprikladni vezani (složeni) materijali, čija izmješanost ponekad doseže i mikroskopske razmjere, što onemogućava izdvajanje materijala. Jedno od rješenja je pružanje podataka o sastavu složenog materijala od strane proizvođača, te njihova spremnost da preuzmu recikliranje svojih proizvoda.

Recikličnost metala je dobra, pri čemu se raznim fizikalnim, toplinskim i kemijskim postupcima danas uspješno prerađuju u sekundarne sirovine željezo, bakar, aluminij, cink, kositar, plemeniti metali, krom, kobalt, selen, telur, galij, germanij, indij, silicij i drugi.

Polimeri se u EE proizvodima najviše koriste kao izolatori i konstrukcijski materijali. Recikličnost polimera je otežana zbog primjene brojnih vrsta. Kako materijalno recikliranje zahtjeva izdvojenost po vrstama polimera kao problem se javlja razvrstavanje i identifikacija polimera, što bi trebalo biti otklonjeno označavanjem vrste polimera na proizvodu. Dodatni problem stvaraju oko 2000 raznih dodataka u polimerima (punila, omekšavala, boje i pigmenti, stabilizatori), te razna ojačala (npr. staklena vlakna kod elektroploča).

Tablica 5-2 Troškovi prerade EE otpada prema grupama (Filetin, 2009)

Grupa proizvoda	Cijena (EUR)
Ekranski uređaji, kom	12,00 - 30,00
Elektronička računala, kg	0,25 - 0,50
Zabavna elektronika, kg	0,30 - 1,25
Ostala informatička oprema, kg	0,40 - 0,90
Veliki kućanski aparati, kom	7,00 - 50,00

Postupci prerade zasnovani na mehaničkom sitnjenju i separaciji pojedinih vrsta materijala uništavaju djelomično, pa i potpuno ispravne dijelove proizvoda (tablica 5-2). U potrazi za gospodarstveno učinkovitijim recikliranjem došlo se do spoznaje da treba izmijeniti pristup konstruiranju proizvoda. Novi pristup nalaže konstruktoru poznavanje mogućnosti recikliranja proizvoda, te uvažavanje zahtjeva recikličnosti. Takvim se pristupom mogu znatno sniziti troškovi recikliranja.

Učinkovitiji način recikliranja je ponovna uporaba djelomično dotrajalog proizvoda, sa ili bez dorade (zavarivanje, navarivanje, mehanička obrada itd). Kako se pri tome uglavnom zadržava oblik proizvoda možemo govoriti o ponovnoj uporabi proizvoda.

5.4. Recikličnost kao zahtijev pri konstruiranju

Sve do nedavno su pri projektiranju i konstruiranju proizvoda dominirali zahtjevi vezani za uporabu (eksploatabilnost) i izradu (tehnologičnost) proizvoda. Pod pritiskom problema zbrinjavanja dotrajalih proizvoda proizvođači su primorani uvažavati i zahtjeve recikličnosti proizvoda. Uporište koncepcije recikliranja proizvoda zasniva se na konstataciji da odbačeni proizvod nakon uporabe sadrži, osim vrijednosti materijala kao sekundarne sirovine, i zalihu prethodno stvorene vrijednosti (energija i rad uloženi u procesu izrade) koja je manje ili više umanjena tijekom eksploatacije. Obnavljanjem se nastoji očuvati ova zaliha vrijednosti.

Proizvođač bi trebao općenito uvažiti sve vrste i postupke recikliranja. Problem se javlja kod proizvoda dugog vijeka trajanja za koje treba pretpostaviti postupak recikliranja koji

će nastupiti nakon deset ili dvadeset godina, dakako u uvjetima drugačije tehnologije. Budući da je u ovom slučaju prognoza nesigurna, treba postaviti generalna pravila za poboljšanje recikličnosti.

U izvedbi recikličnog proizvoda konstruktoru su od pomoći skup pravila i preporuka sadržanih u Smjernicama VDI 2243 (Beitz, 2007). Osnovna polazišta kod uvažavanja zahtjeva recikličnosti su:

1. prikladni izbor materijala,
1.1. smanjenje vrsta materijala,
1.2. izbor materijala prikladnih recikliranju,
1.3. smanjenje mase upotrijebljenih materijala,
1.4. grupiranje materijala problematičnih za recikliranje,
1.5. označavanje vrsta materijala na samom proizvodu,
2. prikladnost rastavljanju i razvrstavanju,
2.1. jednostavna izmjenjivost dijelova,
2.2. davanje detaljnih uputa za rastavljanje i sastavljanje,
2.3. primjena rastavljivih spojeva,
2.4. uvažavanje logičkog reda rastavljanja,
2.5. izbjegavanje nerastavljivih spojeva,
2.6. pri rastavljanju omogućiti prilaz i uporabu električnih i pneumatskih alata,
2.7. tipizacija dijelova.

Preporuke za povećanje prikladnosti recikliranju kod EE proizvoda prikazani su u tablici 5-3. Ukratko se *recikličnost proizvoda* treba osigurati prikladnošću prikupljanja, rastavljanja, čišćenja, razvrstavanja i provjeravanja dijelova, a *recikličnost materijala* prikladnošću prikupljanja, usitnjavanja, razdvajanja i prerade (fizikalne, kemijske, toplinske). U oba je slučaja od važnosti ostvariti jednostavno rasklapanje proizvoda.

Tablica 5-3 Smjernice za recikličnost pojedinih grupa EE proizvoda (Pintarić, 2009)

Vrsta proizvoda	**Smjernice za recikličnost konstrukcije**
Kabeli i vodovi	1. izdvojivost materijala iz složenih elemenata (npr.željezo, aluminij, plastika) 2. recikličnost kabelske plastike 3. recikličnost vezanih metala Al/Cu, Fe/Cu 4. recikličnost kabela nakon uporabe 5. recikličnost bubnjeva za namatanje kabela (višestruka uporaba i prerada)
Električni strojevi (rotacijski strojevi, transformatori, vozila na električni pogon)	1. izdvojivost bakra i željeza iz motora 2. prikladnost industrijskoj preradi odbačenih elektromotora 3. prikladnost produženju vijeka uporabe primjenom obnavljanja i popravaka 4. izdvojivost djelomično dotrajalih elektro-motora iz odbačenih uređaja i strojeva
Električni kontakti, razdjelnici, sklopnici, releji, vodljive ploče, računarska tehnika i sl.	1. ponovno dobijanje plemenitih metala iz dijelova električnih kontakata (oznaka, postupak rastavljanja) 2. recikličnost dotrajalih vodljivih ploča 3. konstrukcija prikladna rastavljanju 4. sposobnost proširenju, rekonstrukciji i prilagodbi
Električni uređaji široke potrošnje (kućanski aparati, audio i video aparati itd.)	1. konstrukcija prikladna rastavljanju, prikladnost izdvajanju sklopova 2. prikupljanje dotrajalih uređaja 3. recikličnost televizorskih ekrana i monitora 4. ponovna uporaba odbačenih dijelova (motora, standardiziranih dijelova, ispravnih sklopova)
Elektrodijelovi drugih strojeva i vozila, uključivo izvore struje	1. prikupljanje dijelova u svrhu obnavljanja ili ponovnog korištenja materijala 2. razdvajanje i razvrstavanje elemenata i sklopova vozila 3. recikličnost akumulatora
Rasvjeta, foto i kino aparati	1. recikličnost rasvjetnih tijela (ponovna uporaba materijala) 2. prikupljanje i organizirani prihvat odbačenih rasvjetnih tijela i dijelova 3. produljenje vijeka uporabe obnavljanjem 4. recikličnost stakla

6. LABORATORIJSKA ISPITIVANJA

Laboratorijska ispitivanja recikliranja mobilnih telefona provedena su u Laboratoriju za oplemenjivanje mineralnih sirovina i zaštitu okoliša na Rudarsko-geološko–naftnom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.

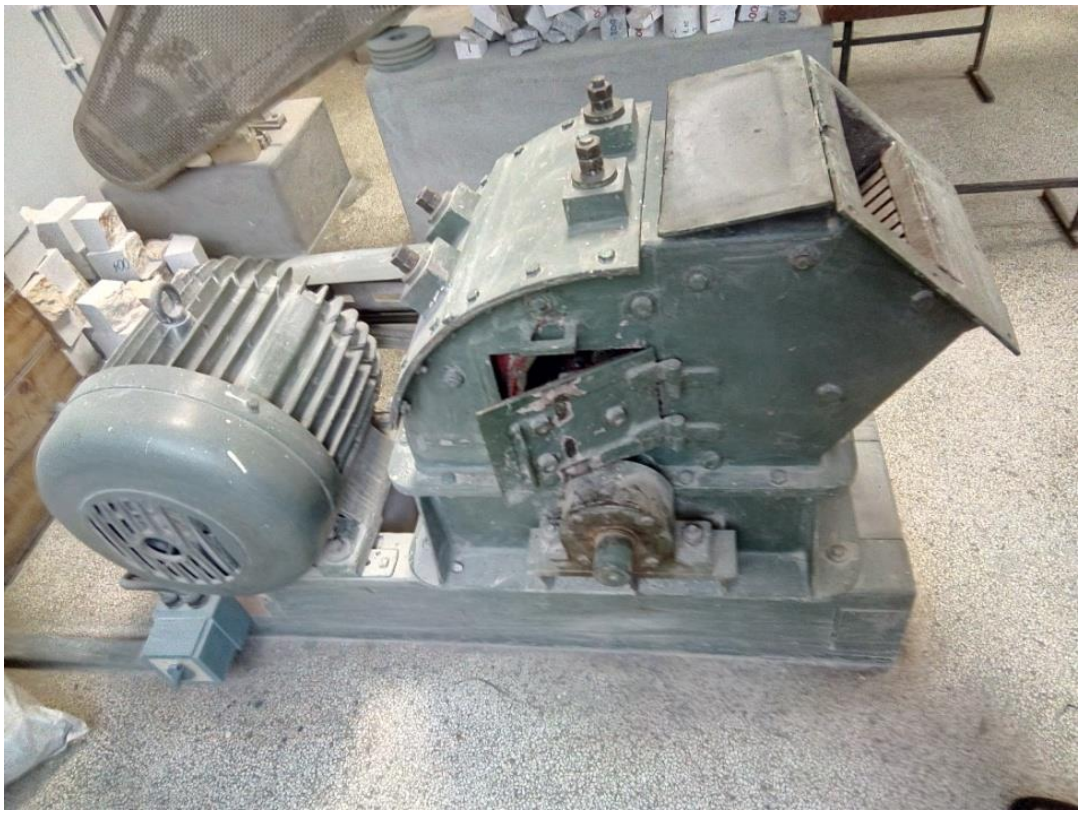
Glavna zadaća bila je postizanje potpunog oslobađanja komponenti, obzirom da su korisne komponente, tj. metali, fizičko-mehaničkim i kemijskim putem spojene s izolacijskom podlogom. Glavni cilj fizikalne separacije je razdvajanje različitih metala od nemetala u zasebne proizvode.

6.1. Korišteni uređaji i postupci

6.1.1. Udarna drobilica

Udarna drobilica (slika 6-1) sastoji se od kućišta s jednim rotorom u koji su fiksno pričvršćene udarne grede. Princip drobljenja je uslijed udarca bez oslonca, tj. udarca u slobodnom prostoru, pri čemu je materijal u dodiru s drobećim elementom samo na jednoj strani i nije uklješten. Do drobljenja dolazi prilikom udara grede rotora o zrno, udara zrna o odbojne ploče i zaštitne obloge kućišta, kao i međusobnog sudara zrna, pri čemu se dio kinetičke energije pretvara u rad sitnjenja. Najveća prednost ovih drobilica je što u proizvodu drobljenja dominiraju zrna kubičnog oblika, pa se zbog toga vrlo često primjenjuju u rudarstvu za oplemenjivanje tehničko-građevnog kamena. Pored toga vrlo su učinkovite, jednostavne za rukovanje i održavanje, te omogućavaju nižu cijenu po toni proizvoda. Koriste se za sekundarno drobljenje, a nerijetko i za primarno (Bedeković i Salopek 2010).

Korištena je laboratorijska udarna drobilica IZ-0 koja pripada grupi horizontalnih udarnih drobilica. Veličina ulaznoga otvora je 270 mm x 110 mm, a veličina izlaznog otvora se može mijenjati od 10 mm do 30 mm, broj okretaja rotora može biti 861 o/min, 1288 o/min ili 1644 o/min.



Slika 6-1 Laboratorijska udarna drobilica IZ-0 (Bedeković i Salopek, 2008)

6.1.2. Drobilica čekićara

Drobilice čekićare (slika 6-2) sastoje se od jednog do dva rotora s čekićima raznih oblika koji rotiraju brzinom od 500 min^{-1} do 3000 min^{-1} oko horizontalne osovine (Bedeković i Salopek, 2008). Čekići su slobodno ovješeni na rotor tako da se mogu zarotirati oko ovjesa u slučaju nailaska na velika zrna ili komade željeza koji su dospjeli u prostor za drobljenje. Na taj način dolazi do manjeg prenošenja energije sa čekića na zrna prilikom udara. Čekići su izrađeni od manganskog čelika ili karbidnog čelika te imaju vrlo visoku otpornost na abraziju (Wills, 2006). Na dnu se nalazi izmjenjiva rešetka (razmak elemenata od 5 mm do 20 mm) koja određuje granulometrijski sastav izdrobljenog materijala. Masa čekića može biti i do 100 kg, a veličina ulaznog zrna i do 200 mm (Bedeković i Salopek, 2008). Zrna nakon udara čekića postižu visoka ubrzanja, te do sitnjenja dolazi i zbog međusobnog sudaranja zrna, što uzrokuje tešku regulaciju izlaznih veličina zrna (Wills, 2006).



Slika 6-2 Drobilica čekićara

6.1.3. Sita

Sijanje je postupak diobe zrnatih materijala na klase, a izvodi se na sitima, suhim ili mokrim načinom. Sita (slika 6-3) se sastoje od dva osnovna dijela: prosjevne površine i uređaja za pogon. Prosjevne površine su izrađene od različitih materijala (plastika, guma, čelik) i na različite načine (pletena žica, ploče perforiranog lima, čelične šipke, rotirajući elementi), dok otvori mogu različitih oblika. Sita se dijele u tri skupine: pokretna, nepokretna i specijalna sita. Klasiranje je postupak kojim se zrnati kolektiv razdvaja na klase prema veličini i obliku ili prema sutaložnosti, a dijeli se u tri grupe:

- sijanje,
- klasiranje u vodenoj struji i
- klasiranje u zračnoj struji.

Pojam klasa podrazumijeva grupu zrna približno jednakih dimenzija. U industrijskoj se praksi razdvajanje prema veličini za zrna veća od 1 mm provodi sijanjem, dok se za zrna

manja od 4 mm koristi razdvajanje prema sutaložnosti u klasifikatorima. Za ispitivanja su korištena sita otvora 4 mm, 2 mm, 1 mm i 0,5 mm.



Slika 6-3 Laboratorijska sita

6.1.4. Rezni mlin

Rezni mlin (slika 6-4) je zadnji uređaj koji je korišten za sitnjenje materijala. Uređaj je očišćen prije upotrebe kako ne bi zaostalo prethodno drobljenih materijala. Rezni mlin koristi sita različitih veličina otvora. U ovom slučaju korišteno je sito s veličinom otvora od 4 mm.



Slika 6-4 Rezni mlin (Cutting Mill RETSCH SM 2000)

6.1.5. Elektrostatički separator

Elektrostatička separacija je postupak razdvajanja materijala na korisnu i nekorisnu komponentu (vodiče i nevodiče), uslijed međudjelovanja između električnog polja i električnog naboja čestice, pri čemu dolazi do razlike u kretanju električki nabijenih čestica u električnom polju. Elektrostatička separacija primjenjuje se u slučajevima kada se čestice razlikuju po dielektričnoj konstanti, tj. polarizacijskim svojstvima i intenzitetu električne vodljivosti. Čestice koje nose jednu vrstu naboja privučene su prema elektrodi suprotnog naboja. Čestice koje imaju tendenciju nabijanja određenim nabojem također se mogu razdvojiti iako njihova provodljivost može biti slična.



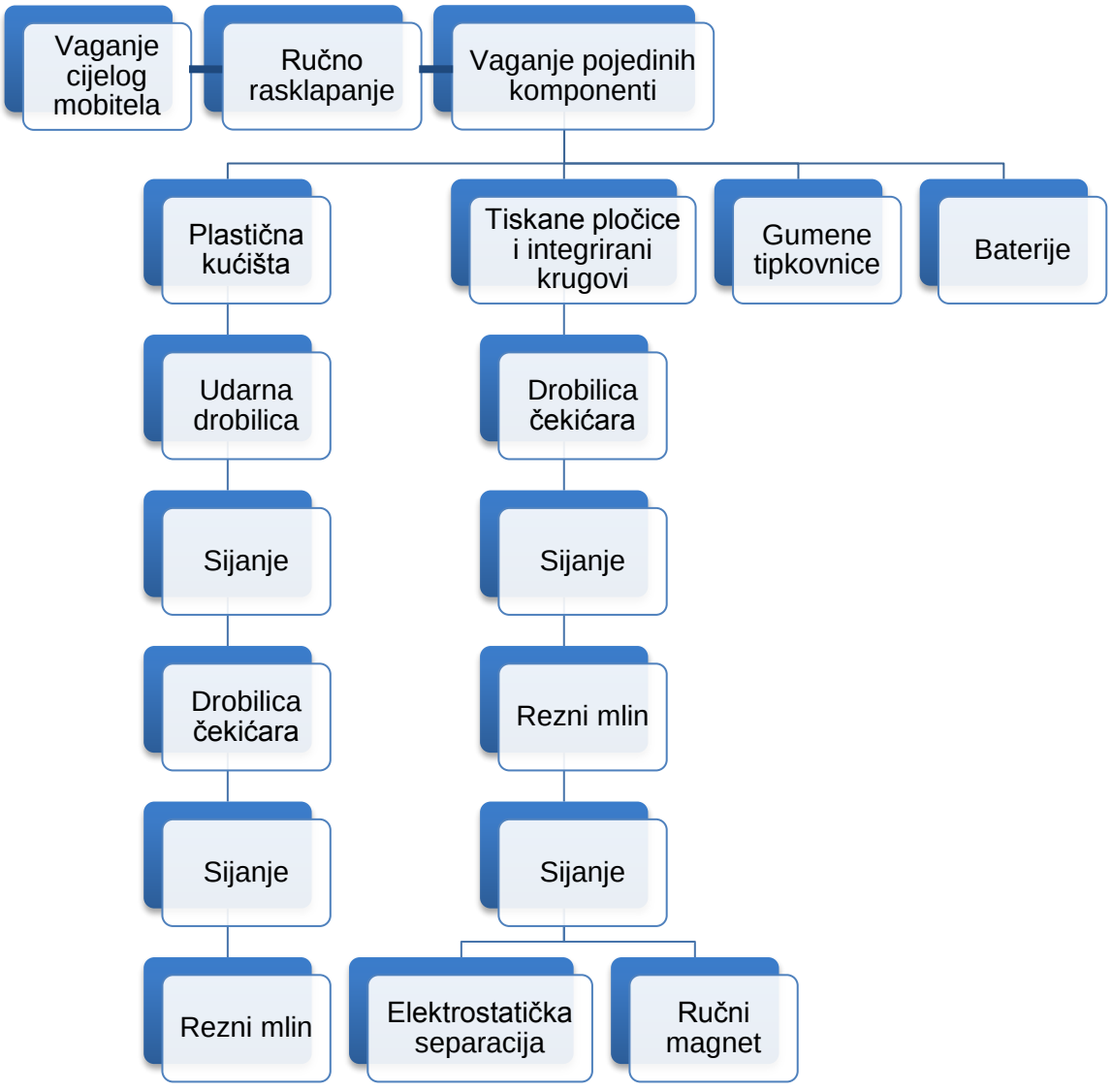
Slika 6-5 Elektrostatički separator Eriez Magnetics HT-150

Gornja veličina zrna u elektrostatičkoj separaciji se kreće u intervalu od 3 mm do 6 mm, a donja od 40 μm do 70 μm. Krupnija zrna ne mogu se preraditi jer su preteška za sile koje djeluju u uređajima, a sitnija od 40 μm blokiraju elektrode taložeći se na njima. Sve sirovine koje dolaze na elektrostatičku separaciju moraju biti suhe sa sadržajem vlage manjim od 1 %, a veličina zrna koja se može preraditi naravno ovisi i o značajkama separatora. Zato je prije separacije potrebno provesti usko klasiranje kako bi separacija bila što uspješnija.

U svrhu elektrostatičke separacije korišten je bubnjasti laboratorijski elektrostatički separator proizvođača Eriez Magnetics, model HT-150 (slika 6-5). Ovaj separator namijenjen je za razdvajanje minerala, metala i plastike koristeći elektrostatički naboj. Prikladan je za razdvajanje širokog spektra materijala na principu razlike u površinskoj vodljivosti. Za ovaj separator proizvođač preporučuje veličinu čestica u rasponu od 0,65 mm do 1,6 mm.

6.2. Proces ispitivanja

Prikupljeno je dvanaest (12) mobitela (slika 6-7) na kojima su provedena ispitivanja. Svaki mobilni telefon je različite mase, te svaki od njih ima različiti udio plastike što je prikazano u tablici 6-1. Mobiteli su rastavljeni na četiri komponente: plastična kućišta, tiskane pločice (s integriranim krugovima), baterije i gumene tipkovnice. Svaki mobitel je izvagan te je nakon toga slijedilo ručno rasklapanje istih. Rastavljeni dijelovi su odvojeni u četiri grupe (prema zajedničkim fizikalnim značajkama) na kojima su izvršena daljnja ispitivanja. Tijek istraživanja je prikazan na blok-dijagramom procedure izvođenja pokusa (slika 6-6).



Slika 6-6 Blok dijagram procedure izvođenja pokusa

Tablica 6-1 Mase mobilnih telefona i njegovih komponenti

	NAZIV MOBITELA	UKUPNA MASA MOBITELA (g)	MASA PLASTIČNOG KUĆIŠTA(g)	MASA TISKANE PLOČICE(g)	BATERIJE (g)	GUMENE TIPKOVNICE (g)
1.	NOKIA Lumia 520	124	55,9	43,1	25	-
2.	Samsung C3520 Fashion	97,3	46,4	31,7	13,3	5,9
3.	Samsung SGH x 670	79	37,9	21,3	14,7	5,1
4.	Vodafone 525	70	29,5	21,5	15,1	3,9
5.	NOKIA 2330c 2	80	32,2	21,9	25,9	-
6.	Sony Ericsson K700i	93	46,5	20,4	21,6	4,5
7.	Vodafone 710	99	35,1	30,1	30,8	3
8.	Samsung gt e1200	65,1	26,1	29	4,9	5,1
9.	HTC Wildfire	118	50,4	35,7	31,9	-
10.	Alcatel VLE5 T&A	91,6	30,2	31	24,6	5,8
11.	NOKIA 6030	90	36,3	29,7	18,3	5,7
12.	Motorola C333	75	31,5	24,6	18,9	-
	Σ	**1082**	**458**	**340**	**245**	**39**



Slika 6-7 Mobiteli na kojima je provedeno ispitivanje



Slika 6-87 Baterije (lijevo) i gumene tipkovnice (desno)

Gumene tipkovnice i baterije (slika 6-8) nisu dalje obrađivane. Gumene tipkovnice se dalje ne mogu reciklirati, odnosno mogu se usitnini i koristiti kao gumeni granulat ili eventualno koristiti za proizvodnju energije spaljivanjem. Baterije su punjive te mogu biti sastavljene od sljedećih komponenti:

- Olovo – kiselina
- Nikal – kadmijske
- Nikal – metal – hidridne

- Nikal – cink
- Litij – ionske
- Litij – polimerne.

Recikliranje takvih tipova baterija zahtijeva veliku potrošnju energije i visoki standard sigurnosti jer se radi o opasnim tvarima, pa iz razloga nepostojanja istih u laboratoriju baterije nisu obrađivane u eksperimentalnom dijelu rada.

6.2.1. Plastična kućišta

Plastična kućišta (slika 6-9) mase 458 g su radi daljnjeg procesa prvo usitnjena u udarnoj drobilici. Već nakon probnoga drobljenja uočeno je da sitnjenje neće biti zadovoljavajuće jer je klasa +20 mm imala maseni udio od 89,40 %.



Slika 6-9 Plastična kućišta

Usitnjeni materijal prosijan je na laboratorijskim sitima s veličinama otvora 20 mm, 10 mm, 7 mm i 4 mm, u cilju određivanja granulometrijskog sastava. Granulometrijski sastav materijala usitnjenog u udarnoj drobilici prikazan je na slici 7-1 i u tablici 6-2.

Tablica 6-2 Granulometrijski sastav plastičnih kućišta nakon sitnjenja u udarnoj drobilici

KLASA	**MASA**		**MASA CUM.**
mm	**g**	**%**	**%**
+20	406	89,40	89,40
20/10	27	6,00	95,40
20/7	9	1,90	97,30
7/4	4	0,90	98,20
-4	8	1,80	100,00
Σ	**454**	**100,00**	**-**

Daljnje sitnjenje plastičnih kućišta provedeno je u drobilici čekićari suhim postupkom uz primjenu rešetke s veličinom otvora od 4 mm. Sam proces je bio dugotrajan zbog velike količine plastičnih kućišta. Nakon toga je provedeno sitnjenje u drobilici s noževima. Prilikom rada korištena je zaštitna oprema (maska za lice, rukavice i kuta) radi zaštite od prašine. Usitnjeni materijal prosijan je na laboratorijskim sitima s veličinama otvora od 4 mm, 3,15 mm, 2 mm, 1 mm, i 0,5 mm, zatim je izvagan te mu je određen granulometrijski sastav. Granulometrijski sastav materijala usitnjenog u drobilici čekićari prikazan je na slici 7-3 i u tablici 6-3.

Tablica 6-3 Granulometrijski sastav plastičnih kućišta nakon sitnjenja u drobilici čekićari

KLASA	**MASA**		**MASA CUM.**
mm	**g**	**%**	**%**
+4	353	78,10	78,10
4/3,15	32	7,10	85,2
3,15/2	14	3,10	88,30
2/1	22	4,80	93,10
1/0,5	19	4,20	97,30
-0,5	12	2,70	100,00
Σ	**452**	**100,00**	**-**

Daljnje sitnjenje plastičnih kućišta provedeno je u reznom mlinu uz primjenu rešetke s veličinom otvora od 4 mm (tablica 6-4 i slika 7-5).

Tablica 6-4 Granulometrijski sastav plastičnih kućišta nakon sitnjenja u reznom mlinu

KLASA	**MASA**		**MASA CUM.**
mm	**g**	**%**	**%**
4/3,15	56,32	12,46	12,46
3,15/2	181,15	38,01	50,47
2/1	168,37	37,43	87,90
1/0,5	33,60	7,43	95,33
-0,5	21,12	4,67	100,00
Σ	**452,00**	**100,00**	**-**

6.2.2. Tiskane pločice i integrirani krugovi

Tiskane pločice i integrirani krugovi (slika 6-10) mase 340 g prvo su usitnjeni u drobilici čekićari. Pri završetku uočeno je da sitnjenje neće biti zadovoljavajuće jer je klasa +4 mm imala maseni udio od približno 55 %.

Usitnjeni materijal prosijan je na laboratorijskim sitima s veličinama otvora od 4 mm, 3,15 mm, 2 mm, 1 mm i 0,5 mm, a zatim mu je određen granulometrijski sastav. Rezultati određivanja granulometrsijkog sastava su prikazani u tablici 6-5.



Slika 6-10 Tiskane pločice i integrirani krugovi

Tablica 6-5 Granulometrijski sastav tiskanih pločica i integriranih krugova nakon sitnjenja u drobilici čekićari

KLASA	**MASA**		**MASA CUM.**
mm	**g**	**%**	**%**
+4	187	69,90	69,90
4/3,15	25,22	9,45	79,35
3,15/2	14,59	5,46	84,81
2/1	17,83	6,68	91,49
1/0,5	12,01	4,56	96,05
-0,5	10,40	3,95	100,00
Σ	**267,05**	**100,00**	-

Daljnje sitnjenje tiskanih pločica i integriranih krugova se odvijalo u reznom mlinu uz primjenu rešetke s veličinom otvora od 4 mm (tablica 6-6).

Tablica 6-6 Granulometrijski sastav tiskanih pločica i integriranih krugova nakon sitnjenja u reznom mlinu

KLASA	MASA		MASA CUM.
mm	g	%	%
4/3,15	5,66	2,31	2,31
3,15/2	56,15	22,94	25,25
2/1	127,19	51,96	77,21
1/0,5	33,42	13,65	90,86
-0,5	22,34	9,14	100,00
Σ	**244,76**	**100,00**	**-**

6.2.2.1. Elektrostatička separacija tiskanih pločica i integriranih krugova

Ispitivanja na elektrostatičkom separatoru provedena su na klasama 2/1 mm i 1/0,5 mm prethodno dobivenim iz reznog mlina te klasiranim na laboratorijskim sitima. Pošto proizvođač uređaja preporuča veličinu čestica između 0,65 i 1,6 mm, prethodno spomenute dvije klase su odabrane za ispitivanje. Obzirom na nekoliko parametara koji utječu na separaciju provedeno je 6 ispitivanja pri jednakom naponu ionizacijske elektrode te udaljenosti ionizacijske elektrode od bubnja.

Tijekom svih testova konstantne su bile:

- Brzina rotacije bubnja: 80 m/min
- Intenzitet dozatora: 70 %
- Pozicija (nagib) dvaju separacijskih noževa: 75° i 120°

Vrednovanje rezultata provedeno je pomoću tehnoloških pokazatelja koji su izračunati prema izrazu (6-1) (Bedeković i Salopek, 2008) za maseno iskorištenje koncentrata.

Maseno iskorištenje *(Im*) je odnos mase koncentrata i mase ulazne sirovine. Izražava se u postocima i izračunava prema izrazu (6-1):

$$I_m = 100 \cdot \frac{K}{M} \ (\%) \qquad (6\text{-}1)$$

gdje je:

K - masa koncentrata (kg),

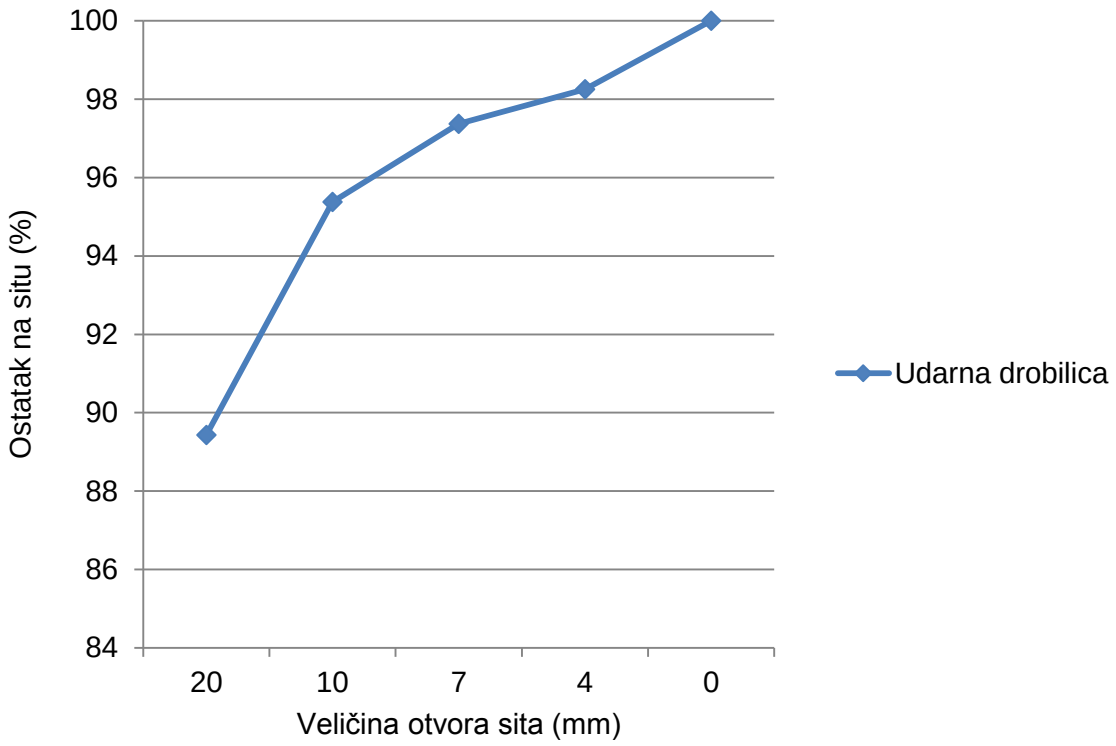
M - masa ulaznog materijala (kg).

7. REZULTATI I DISKUSIJA

7.1. Plastična kućišta

Plastična kućišta su usitnjena na tri različita stroja: udarnoj drobilici, drobilici čekićari te reznom mlinu. Polimeri su 100 % reciklabirni te oni idu u daljnji procese recikliranja.

Na slici 7-1 prikazan je granulometrijski sastav plastičnih kućišta nakon sitnjenja u udarnoj drobilici. Udarna drobilica nije bila pogodna za potrebe sitnjenja, jer su potrebne klase manje od 20/10 mm. Kao što se vidi na slikama 7-1 i 7-2, nakon sitnjenja u ovoj drobilici, maseni udio klase +20 mm iznosio je 89,40 %.

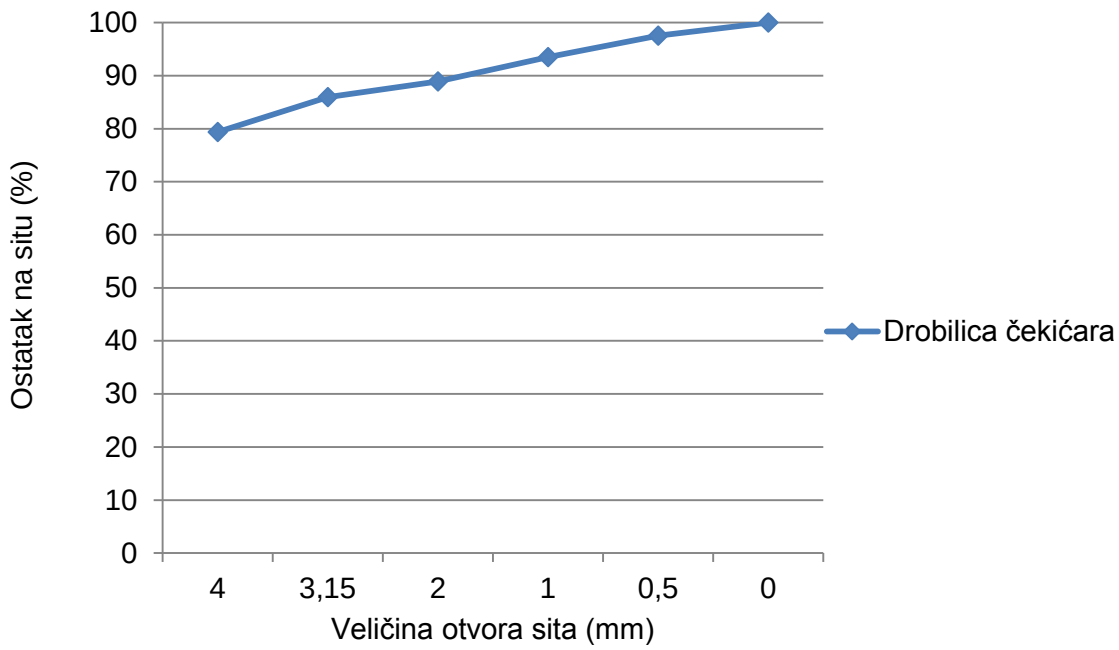


Slika 7-1 Granulometrijski sastav materijala nakon sitnjenja u udarnoj drobilici



Slika 7-2 Klase plastičnih kućišta nakon sitnjenja u udarnoj drobilici (redom s lijeva na desno): +20 mm, 20/10 mm, 10/7 mm, 7/4 mm, -4 mm

Daljnje sitnjenje plastičnih kućišta provedeno je u drobilici čekićari suhim postupkom uz primjenu rešetke s veličinom otvora od 4 mm. Kao što je prikazano na slikama 7.3 i 7.4 drobilica čekićara dala je bolje rezultate te je maseni udio najveće klase +4 mm iznosio 78,70 %.

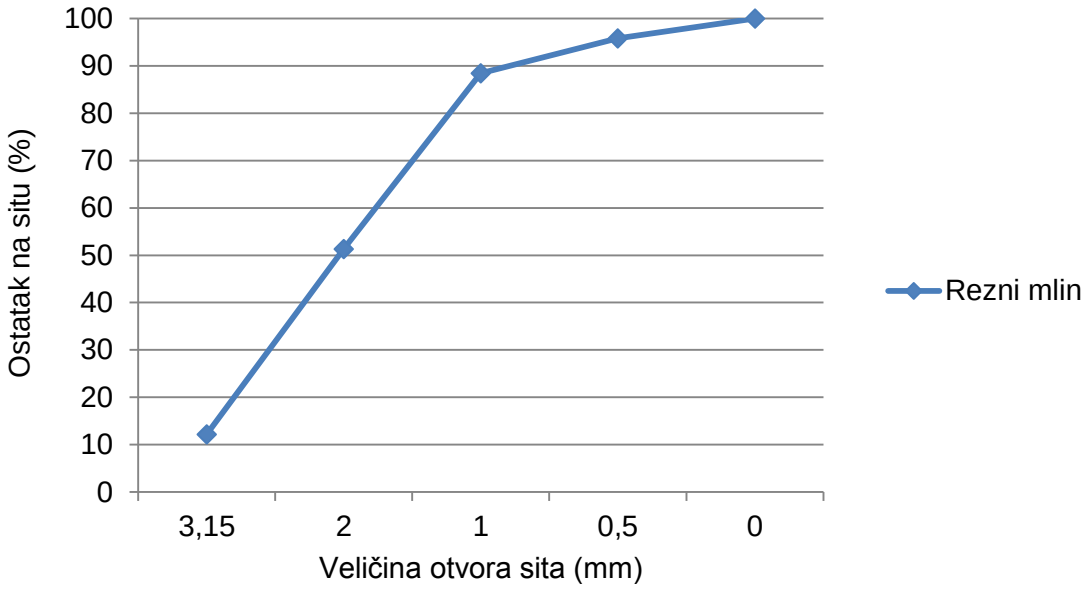


Slika 7-3 Granulometrijski sastav materijala nakon drobilice čekićare



Slika 7-4 Klase plastičnih kućišta nakon sitnjenja u drobilici čekićari (redom s lijeva na desno): +4 mm, 4/3,15 mm, 3,15/2 mm, 2/1 mm, 1/0,5 mm, -0,5 mm

Zadnji stroj na kojem se odvijalo sitnjenje je rezni mlin. U ovom slučaju korišteno je sito s veličinom otvora od 4 mm. Rezni mlin je dao najkvalitetnije rezultate. Maseni udio klase 3,15/2 mm iznosio je 38,01 %, a klase 2/1 mm od 37,43 %. Rezultati su vidljivi na slikama 7.5 i 7.6.



Slika 7-5 Granulometrijski sastav materijala nakon reznog mlina



Slika 7-6 Klase plastičnih kućišta nakon reznog mlina (redom s lijeva na desno): 4/3,15 mm, 3,15/2 mm, 2/1 mm, 1/0,5 mm, -0,5 mm

7.2. Tiskane pločice i integrirani krugovi

Ispitivanja separacije metala na elektrostatičkom separatoru su provedena na klasama 2/1 mm i 1/0,5 mm pri brzini okretanja bubnja od 80 m/min, napona ionizacijske elektrode od 22 kV te udaljenosti ionizacijske elektrode od bubnja od 2 cm, 3 cm i 5 cm.

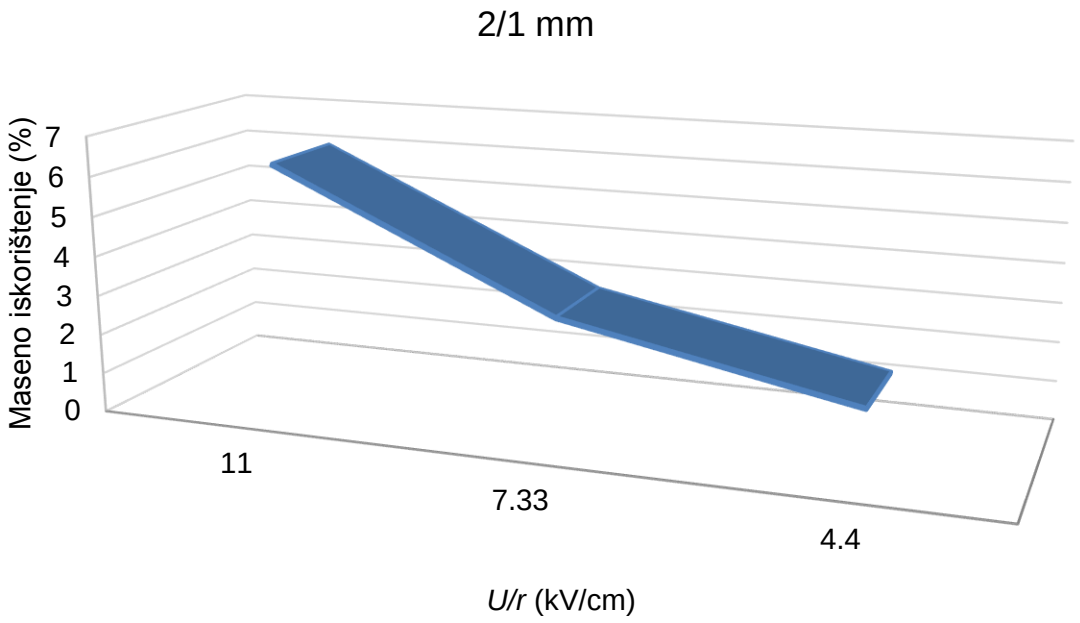
U/r je varijabla koja predstavlja odnos napona i položaja elektrode, a njene vrijednosti za tri različita slučaja (položaja elektrode) prikazane su u tablici 7-1.

Kao što je prikazano u tablici 7-1 u pokusima s klasom 2/1 mm, maseno iskorištenje (I_m) kreće se od 1,47 % do 6,16 %. Najviša vrijednost masenog iskorištenja od 6,16 % postignuta je pri naponu od 22 kV i položaju elektrode od 2 cm, a najniža s 1,47 % pri naponu od 22 kV i položaju elektrode od 5 cm.

Tablica 7-1 Rezultati elektrostatičke separacije koncentrata iz samljevenih tiskanih pločica i integriranih krugova klase 2/1 mm

Klasa	**Test (br.)**	**Napon**	**Pozicija elektrode**		**ULAZ Masa uzorka (M)**	**MASA MEĐUPRODUKTA**	**MASA JALOVINE**	**KONCENTRAT**	**MASENO ISKORIŠTENJE**
		U	***r***	***U/r***				**Masa vodiča (K)**	I_m
mm	-	kV	cm	kV/cm	g	g	g	g	%
2/1	I – 1	22	2	11	130,12	102,98	15,75	8,02	6,16
	I – 2	22	3	7,33	130,12	112,15	8,50	3,78	2,91
	I – 3	22	5	4,4	130,12	111,35	9,80	1,91	1.47
	Prosjek	**22**	**3,33**	**7,58**	**130,12**	**108,82**	**11,35**	**4,57**	**3,51**

Slika 7-7 prikazuje maseno iskorištenje samljevenih tikanih pločica za klasu 2/1 mm. Što je viša varijabla *U/r*, odnosno manja udaljenost elektrode pri istom naponu, veće je maseno iskorištenje. *U* ovom slučaju najveće maseno iskorištenje dobiveno je pri naponu od 22 kV, i poziciji elektrode na udaljenosti od 2 cm od bubnja.



Slika 7-7 Dijagram masenog iskorištenja metala (I_m) u ovisnosti o faktoru *U/r* (odnosu napona i udaljenosti elektrode) za samljevene tiskane pločice klase 2/1 mm

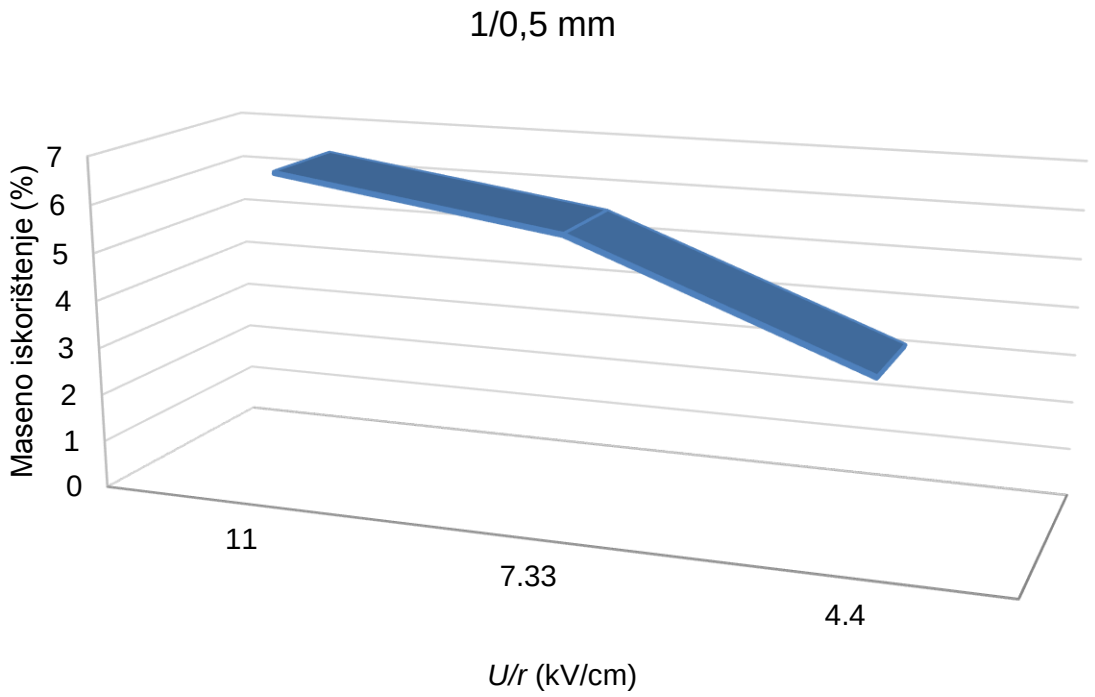
Kao što je prikazano u tablici 7-2 u pokusima s klasom 1/0,5 mm, maseno iskorištenje (I_m) kreće se od 3,38 % do 6,54 %. Najviša vrijednost masenog iskorištenja od 6,54 % postignuta je također pri naponu od 22 kV i položaju elektrode od 2 cm, a najniža s 3,38 % pri naponu od 22 kV i položaju elektrode od 5 cm.

Tablica 7-2 Rezultati elektrostatičke separacije koncentrata iz samljevenih tiskanih pločica i integriranih krugova klase 1/0,5 mm

Klasa	Test (br.)	Napon	Pozicija elektrode		ULAZ Masa uzorka (M)	MASA MEĐUPRODUKTA	MASA JALOVINE	KONCENTRAT	MASENO ISKORIŠTENJE
		U	***r***	***U/r***				Masa vodiča (K)	I_m
mm	-	kV	cm	kV/cm	g	g	g	g	%
2/1	I – 1	22	2	11	31,65	23,42	5,14	2,07	6,54
	I – 2	22	3	7,33	31,65	21,18	4,98	1,80	5,69
	I – 3	22	5	4,4	31,65	20,14	4,10	1,07	3,38
	Prosjek	**22**	**3,33**	**7,58**	**31,65**	**21,58**	**4,74**	**1,65**	**5,20**

Slika 7-8 prikazuje maseno iskorištenje samljevenih tikanih pločica za klasu 1/0,5 mm. U ovom slučaju kao i u prethodnom, najveće iskorištenje je kada je napon 22 kV i pozicija elektrode na udaljenosti od 2 cm od bubnja.

Pri tome se može uočiti, usporednom rezultata u tablicama 7-1 i 7-2, kako maseno iskorištenje ovisi i o veličini zrna, odnosno raste kako se veličina zrna smanjuje. Bolji rezultati se postižu s klasom 1/0,5 mm nego s klasom 2/1 mm. Rezultati su također bolji što je udaljenost elektrode manja odnosno što je varijabla *U/r* veća.



Slika 7-8 Dijagram masenog iskorištenja metala (I_m) u ovisnosti o faktoru *U/r* (odnosu napona i udaljenosti elektrode) za samljevene tiskane pločice klase 1/0,5 mm

8. ZAKLJUČAK

Količine EE opreme stavljene na tržište konstantno rastu. Uz kratak vijek trajanja takvih proizvoda sve više ih svake godine postaje EE otpad. Procjenjuje se da će godišnje količine nastalog otpada rasti za 3 % u razvijenim zemljama dok će ta brojka u zemljama u razvoju dosezati i više od 10 %.

Europska unija, čiji je i Republika Hrvatska član, konstanto prati i donosi nove propise kako bi se količina sakupljenih količina EE otpada povećala. Sadašnje vrijednosti obvezuju svaku članicu na minimalno 4 kilograma sakupljenoga EE otpada iz kućanstva po stanovniku godišnje. Količine EE otpada svakodnevno rastu te će Republika Hrvatska morati uložiti znatan napor kako bi dostigla te ciljeve.

Mobilni telefoni su postali neizbježan dio života te se kao takvi vrlo brzo zamjenjuju novijim modelima. Mobilni telefoni kao i sav EE otpad kojem pripadaju, postaju sve veći problem iz razloga što se ne zbrinjavaju na odgovarajući način. Uzevši u obzir da će do 2020. godine u svijetu biti u upotrebi oko 8 milijardi mobilnih telefona, sadašnja stopa recikliranja neće biti dovoljno visoka uz takav rastući trend. Iz tog razloga je potrebno razviti nove strategije recikliranja EE otpada.

Recikliranjem EE otpada, osim što se pridobivaju korisne komponente, također pridonosimo očuvanju prirode i smanjenju onečišćenja okoliša, smanjuje se prostor za odlaganje otpada tj. provodi se program održivog razvoja za buduće generacije. Potrebno je pronaći optimalni način recikliranja ove sirovine, uz što bolji način iskorištenja korisne komponente, a manjeg onečišćenja okoliša u procesu recikliranja.

U ovom radu ispitivana je mogućnost izdvajanja metala iz otpadnih tiskanih pločica i integriranih krugova iz mobilnih telefona postupkom elektrostatičke separacije. Separacijom na laboratorijskom elektrostatičkom separatoru vrijednosti masenog iskorištenja kretale su se u rasponu od 1,47 % do 6,54 % za obje klase. Iz prikazanih dijagrama vidljivo je da uspješnost izdvajanja metala u velikoj mjeri ovisi o položaju elektrode odnosno o odnosu varijabli *U/r*. Smanjenjem udaljenosti elektrode od bubnja povećava se učinkovitost izdvajanja metala. Rezultati su također pokazali da je maseno

iskorištenje veće pri separaciji sitnije klase (1/0,5 mm) u odnosu na krupniju testiranu klasu (2/1 mm).

Može se zaključiti da postoji potreba za daljnjim istraživanjem mogućnosti što učinkovitijeg odvajanja korisne od nekorisne komponente (vodiča od nevodiča) pri različitim vrijednostima radnih parametara s ispitivanim klasama materijala, kao i s klasama sitnijim od 0,5 mm ili krupnijim od 2 mm. S razvojem tehnologije, kao i većom potražnjom za sirovinama i manjim količinama metala u ležištima, izdvajanje korisnih komponenti iz klase sitnije od 0,5 mm ili krupnije od 2 mm vjerojatno će postati ekonomski opravdano.

9. LITERATURA

AGENCIJA ZA ZAŠTITU OKOLIŠA (2014.); Pregled podataka o električnom i elektroničkom otpaduza 2012. i 2013., Zagreb

AGENCIJA ZA ZAŠTITU OKOLIŠA (2012.); 2011 - Izvješće o električnom i elektroničkom otpadu, Zagreb

AGENCIJA ZA ZAŠTITU OKOLIŠA (2011.); 2010 - Izvješće o električnom i elektroničkom otpadu, Zagreb

AGENCIJA ZA ZAŠTITU OKOLIŠA (2008.); Izvješće o električnom i elektroničkom otpadu za 2007. godinu, Zagreb

BEDEKOVIĆ, G., SALOPEK, B., 2008. Upute i podloge za laboratorijske vježbe iz predmeta oplemenjivanje mineralnih sirovina 2: interna skripta, Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet

BEITZ, W. (2007.); Designing for ease of recycling, Berlin

BEITZ, W., MAYER, H. (2009.); Untersuchungen zur recyclingfreundlichen Gestaltung von Haushaltsgrossgeräten

EUR-LEX, ACCES TO EUROPEAN LAW, URL: http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/LSU/?uri=CELEX:32002L0096

FILETIN, T. (2000.); Zbrinjavanje električkog i elektroničkog otpada (e-otpada), FSB Zagreb, URL: https://www.fsb.unizg.hr/usb_frontend/files/1381747900-0-rm5-e-otpad_12.pdf

FOND ZA ZAŠTITU OKOLIŠA I ENERGETSKU UČINKOVITOST; Električni i elektronički otpad, URL: http://www.fzoeu.hr/hr/gospodarenje_otpadom/posebne_kategorije_otpada/elektricni_i_elektronicki_otpad/

KOELLNER, W., FICHTLER, W. (1996.); Recycling von Elektro- und Elektronikschrott. Springer-Verlag, Berlin

KRANJČEVIĆ-OREŠKOVIĆ, I. (2010.); Zbrinjavanje i reciklaža EE otpada, Otočac

MINISTARSTVO ZAŠTITE OKOLIŠA I PRIRODE (2014.); Pravilnik o gospodarenju otpadnom električnom i elektroničkom opremom, NN 42/2014, Zagreb, URL: http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2014_04_42_782.html

MINISTARSTVO ZAŠTITE OKOLIŠA I PRIRODE (2015.); Pravilnik o baterijama i akumulatorima i otpadnim baterijama i akumulatorima, NN 111/2015, Zagreb, URL: http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2015_10_111_2147.html

MINISTARSTVO GOSPODARSTVA (2013.); Pravilnik o ograničavanju uporabe određenih opasnih tvari u električnoj i elektroničkoj opremi, NN 131/2013, Zagreb, URL: http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013_10_131_2866.html
MINISTARSTVO GOSPODARSTVA (2014.); Pravilnik o izmjenama i dopunama pravilnika o ograničavanju uporabe određenih opasnih tvari u električnoj i elektroničkoj opremi, NN 142/2014, Zagreb, URL: http://narodnenovine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2014_12_142_2676.html
MINISTAR GOSPODARSTVA U SURADNJI S MINISTROM ZAŠTITE OKOLIŠA I PRIRODE I MINISTROM ZDRAVLJA (2016.), Pravilnik o ograničavanju uporabe određenih opasnih tvari u električnoj i elektroničkoj opremi, NN 131/13, 16/14, 90/14, 142/14, 128/15, 92/16 i 20/17, Zagreb, URL: http://www.propisi.hr/print.php?id=12655
PINTARIĆ, A. (2009.); Recikliranje materijala i elektrotehničkih proizvoda, Elektrotehnički fakultet Osijek
PINTARIĆ, A., FILETIN T. (1994.); Analiza recikličnosti proizvoda. Zbornik radova III, Osijek
REGIONALNI CENTAR ZAŠTITE OKOLIŠA (2009.): EU i zaštita okoliša; Gospodarenje otpadom na lokalnoj razini; Zagreb
SLUŽBENI LIST EUROPSKE UNIJE (2012.); Direktiva 2012/19/EU europskog parlamenta i vijeća od 4. srpnja 2012. o otpadnoj električnoj i elektroničkoj opremi (OEEO) (preinačena), URL: http://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012L0019&from=HR
SPECTRA MEDIA (2014.); Gospodarenje EE otpadom u Hrvatskoj, Zagreb simpozija Gospodarenje otpadom, Zagreb
STEP: SOLVING THE E-WASTE PROBLEMS (2014.); What is e-waste?; URL: http://www.step-initiative.org/what-is-ewaste.html
VAŽIĆ, M. (2004.), Elektronički otpad, Elektrotehnički fakultet Osijek, Osijek
WEEE FORUM; Annual report 2011, Brussels
WILLS, B. A., NAPIER-MUNN, T. 2006. Wills' Mineral Processing Technology: An Introduction to the Practical aspects of ore treatment and mineral recovery, 7 izdanje, Oxford: Elsevier