Recikliranje električnih žarulja

Pavlinić, Matija

Master's thesis / Diplomski rad

2015

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:169:763469

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

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







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Diplomski studij rudarstva

RECIKLIRANJE ELEKTRIČNIH ŽARULJA

Diplomski rad

Matija Pavlinić

R-94

Zagreb, 2015.

Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Diplomski rad

RECIKLIRANJE ELEKTRIČNIH ŽARULJA

MATIJA PAVLINIĆ

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

Sažetak

U ovom diplomskom radu opisane su različite vrste električnih žarulja te postupci njihovog recikliranja u svijetu i Hrvatskoj. Električne žarulje spadaju u EE opremu, koja je jedna od najraširenijih industrija u svijetu. Rastom proizvodnje EE opreme, raste i količina otpada koju je potrebno zbrinuti. Žarulje sadrže i opasne materijale, poput žive, koje je potrebno odvojiti i zbrinuti na poseban način. Kako žarulje u sebi sadrže korisne materijale, u ovom radu opisane su tehnologije dobivanja sekundarnih sirovina iz žarulja te su testirane neke druge metode separacije u eksperimentalnom dijelu rada. Prema dobivenim rezultatima vidljivo je da se samo drobljenjem i sijanjem može izdvojiti aluminij. Magnetskom separacijom učinkovito su izdvojeni magnetični dijelovi žarulje, a zračnom separacijom nisu dobiveni zadovoljavajući rezultati.

Ključne riječi: EE otpad, električne žarulje, živa, separacija, koncentrat.

Diplomski rad sadrži: 34 stranica, 8 tablica, 23 slike i 18 referenci.

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta
Pierottijeva 6, Zagreb

Voditelj: Dr. sc. Gordan Bedeković, izvanredni profesor RGNF

Ocjenjivači: Dr. sc. Gordan Bedeković, izvanredni profesor RGNF
Dr. sc. Dalibor Kuhinek, docent RGNF
Dr. sc. Želimir Veinović, docent RGNF

Datum obrane: 17. rujna 2015.

University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology
and Petroleum Engineering

Master's Thesis

ELECTRIC LIGHT BULB RECYCLING

MATIJA PAVLINIĆ

Thesis completed in: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum engineering
Department of Mining Geology and Geotechnics,
Pierottijeva 6, 10 002 Zagreb

Abstract

In this master`s thesis, I have described different types of electric light bulbs, as well as the procedures of their recycling in the world and in Croatia. Electric light bulbs are classified as Electrical and Electronic Equipment (EEE), which is one of the most widespread industries in the world. As EEE production increases, so does the amount of waste that needs to be managed. The light bulbs contains hazardous materials, such as mercury, which needs to be separated and handled properly. Given that the light bulbs also contains useful materials, in this paper I have described the technologies of obtaining secondary raw materials from light bulbs, as well as some other metods of separation that I have tested in the experimental part of the work. According to the results, it is evident that aluminium can be extracted only by crushing and sieving. Magnetic separation has been proven effective in separating magnetic parts of the light bulbs, and the air separation did not give satisfactory results.

Keywords: EE waste, light bulbs, mercury, separation, concentrate.

Thesis contains: 34 pages, 8 tables, 23 pictures and 18 references.

Original in: Croatian

Thesis deposited in: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering,
Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: PhD Gordan Bedeković, Associate Professor

Reviewers: PhD Gordan Bedeković, Associate Professor
PhD Dalibor Kuhinek, Assistant Professor
PhD Želimir Veinović, Assistant Professor

Date of defense: September 17, 2015

SADRŽAJ

1. Uvod 1

2. Električna žarulja 2

2.1. Vrste žarulja 3

2.2. Sirovine za izradu žarulja 6

3. Načini zbrinjavanja žarulja u svijetu i Hrvatskoj 9

3.1. Bulb Eater 10

3.2. Blubox 11

3.3. Rad u pogonu tvrtke Spectra Media d.o.o. 13

4. Eksperimentalni dio 18

4.1. Materijal 19

4.2. Uređaji i oprema 19

4.2.1. Udarna drobilica 19

4.2.2. Drobilica čekićara 20

4.2.3. Zračni separator 22

4.2.4. Magnet (magnetska separacija) 23

5. Rezultati i diskusija 25

6. Zaključak 32

7. Literatura 33

POPIS TABLICA

Tablica 2-1. Klinički utjecaji elementarnih i anorganskih oblika žive 8

Tablica 3-1. Tvrtke u Hrvatskoj koje se bave prikupljanjem i recikliranjem el. žarulja. 9

Tablica 4-1. Vrijednost radnih varijabli zračne separacije 23

Tablica 5-1. Rezultati zračne separacije 29

Tablica 5-2. Mase izdvojene magnetske komponente u eksperimentalnom dijelu rada 29

Tablica 5-3. Mase prosjeva i odsjeva na situ s veličinom otvora od 20 mm 30

Tablica 5-4. Masa izdvojenog aluminija iz žarulja 30

Tablica 5-5. Masa izdvojenog materijala za zračnu separaciju 31

POPIS SLIKA

Slika 2-1. Elektromagnetski spektar vidljive svjetlosti 3

Slika 2-2. „Obična žarulja“ 3

Slika 2-3. Halogena žarulja 4

Slika 2-4. Kompaktna fluorescentna žarulja 5

Slika 2-5. T5 i T8 tip fluorescentne cijevi 5

Slika 2-6. Tipovi LED žarulja 6

Slika 3-1. Oznaka za otpad koji je potrebno zbrinjavati odvojeno od ostalog otpada 9

Slika 3-2. Uređaj Bulb Eater sa glavnim dijelovima 10

Slika 3-3. Prikaz sheme rada BLUBOX uređaja 12

Slika 3-4. Prvi uređaj za recikliranje električnih žarulja 13

Slika 3-5. Spremnik sa zdrobljenim električnim žaruljama 14

Slika 3-6. Automatski podizač spremnika u uređaj za recikliranje 15

Slika 3-7. Spiralni transporter 15

Slika 3-8. Uređaj za filtraciju zraka s aktivnim ugljenom 16

Slika 3-9. Blok dijagram pogona za recikliranje elektičnih žarulja Spectra Media d.o.o. .. 17

Slika 4-1. Blok dijagram eksperimentalnog rada u laboratoriju 18

Slika 4-2. Žarulje korištene u eksperimentalnom dijelu rada 19

Slika 4-3. Glavni dijelovi udarne drobilice 20

Slika 4-4. Korištena drobilica čekićara sa glavnim dijelovima 21

Slika 4-5. Uređaj za zračnu separaciju 22

Slika 4-6. „Ručni“ magnet 24

Slika 5-1. Žarulja nakon drobljenja u čeljusnoj, udarnoj i drobilici čekićari 25

Slika 5-2. Dio izdvojenog aluminija..... 26

POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I KRATICA

U	masa ulaznog materijala	g
K	masa koncentrata	g
K_k	kvaliteta koncentrata	%
I_k	iskorištenje korisne komponente	%
m_k	masa korisne komponente u koncentratu	g
k	sadržaj korisne komponente u koncentratu	%
u	sadržaj korisne komponente u ulazu	%

1. Uvod

U današnjem, modernom društvu, gdje je razvoj tehnologije veoma brz, pogotovo razvoj električnih i elektroničkih uređaja, u koje spadaju električne žarulje javlja se potreba za sigurnim i učinkovitim zbrinjavanjem otpada. Iako su žarulje „male“ i same po sebi nisu velika količina otpada, zbog njihove velike prisutnosti (kvantitete) u većini kućanstava, objekata i površina te zbog prisutnosti opasnih tvari u pojedinim žaruljama potrebno ih je na odgovarajući način zbrinuti. Pravilnim zbrinjavanjem žarulja smanjuje se količina otpada na odlagalištu, sprečava se širenje štetnih tvari u okoliš te na kraju ostvaruje se ekonomska dobit prodajom recikliranih materijala. Isplativije je recikliranje iskorištenog EE otpada, nego proizvodnja novih proizvoda iz primarnih sirovina.

Kod recikliranja žarulja je veoma važno njihovo odvojeno prikupljanje, zbog lakog lomljenja i ispuštanja otpadnih tvari u raznim oblicima, koji mogu naštetiti ljudskom zdravlju (pogotovo živa). Živa je izuzetno toksičan element, ali i tehnološki neizbježan sastojak fluorescentnih cijevi i žarulja u količinama do (dozvoljenih) 5 mg. Kvalitetnije žarulje sadrže manje žive (1-2 mg), ali su one značajno skuplje (recikliraj.hr). Zbog slabe ekonomske situacije, većina će se potrošača primoranih na kupnju fluorescentnih cijevi i žarulja, odlučiti za jeftiniju varijantu, za žarulje sa većim sadržajem žive. Upravo u ovom radu istražene su mogućnosti sigurnog zbrinjavanja električnih žarulja, načina recikliranja i mogućnosti ponovne uporabe materijala iz žarulja te prikazati moderne metode recikliranja u svijetu. U eksperimentalnom dijelu rada ispitana je učinkovitost pojedinih metoda separacije na raznim uređajima i utvrđen je utjecaj radnih parametara i svojstva materijala koji se separira.

EE otpad

Prema Pravilniku o gospodarenju otpadnom električnom i elektroničkom opremom (NN 42/14, 107/14) EE oprema (električni i elektronički uređaji i oprema) predstavlja sve proizvode i njihove sastavne dijelove koji su za svoje primarno i pravilno djelovanje ovisni o električnoj energiji ili elektromagnetskim poljima kao primarnom izvoru energije kao i proizvode za proizvodnju, prijenos i mjerenje struje ili jakosti elektromagnetskog polja, a koji se mogu svrstati u popis vrsta proizvoda iz Dodatka 2. i Dodatka 4. ovog Pravilnika ili su im po svojoj svrsi i namjeni slični i koji su namijenjeni za korištenje pri naponu koji ne prelazi 1000 V za izmjeničnu i 1500 V za istosmjernu struju.

Kategorije električne i elektroničke opreme obuhvaćene pravilnikom u razdoblju do 14.8. 2018. su:

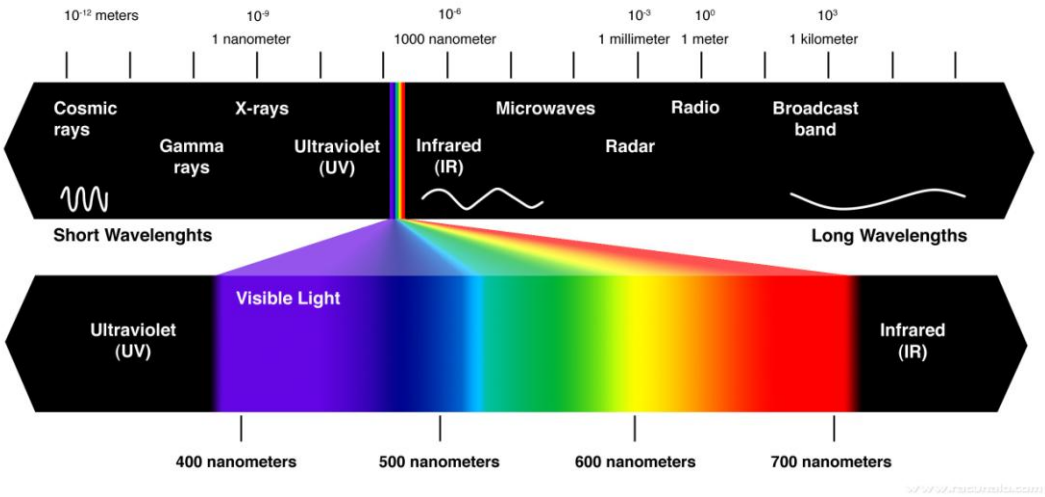
- Veliki kućanski uređaji,
- Mali kućanski uređaji,
- Oprema informatičke tehnike (IT) i oprema za telekomunikacije,
- Oprema široke potrošnje i fotonaponske ploče,
- Rasvjetna oprema,
- Električni i elektronički alati (osim velikih nepokretnih industrijskih alata),
- Igračke, oprema za razonodu i sportska oprema,
- Medicinski proizvodi (osim svih implantiranih i inficiranih proizvoda),
- Instrumenti za praćenje i kontrolu,
- Automatski samoposlužni uređaji.

Pod kategoriju rasvjetne opreme spadaju:

- Rasvjetna tijela za fluorescentne žarulje, osim rasvjetnih tijela u kućanstvu,
- Ravne fluorescentne žarulje,
- Kompaktne fluorescentne žarulje,
- Žarulje s izbijanjem, uključujući visokotlačne žarulje s natrjevim parama i žarulje s metalnim parama,
- Niskotlačne natrijeve žarulje,
- Ostala rasvjetna oprema ili oprema za širenje ili upravljanje svjetla, osim žarulja sa žarnom niti,
- Ostala rasvjetna oprema.

2. Električna žarulja

Električna žarulja je uređaj za pretvaranje električne energije u svjetlost (Slika 2-1.). Može se pronaći u većini kućanstva na svijetu. Užareno tijelo, vlakno, emitira niz radijacija, koje su, što je tijelo na višoj temperaturi raznovrsniji i sudjeluju u ukupnoj radijaciji u raznim udjelima (Petrović, 1985).



Slika 2-1. Elektromagnetski spektar vidljive svjetlosti (Racunalo.com)

2.1. Vrste žarulja

Inkandescentne (klasične) žarulje stvaraju svjetlost protjecanjem električne struje kroz nit koja se zagrijava do visoke temperature i zrači energiju u obliku vidljive svjetlosti i toplinskog zračenja. Vrlo su neučinkovite u odnosu na druge izvore svjetlosti te se najviše koriste gdje je potrebna visoka razina osvjetljenja. Obične inkandescentne žarulje su povoljne, lako dostupne žarulje, na koje većina nas pomisli pri spomenu na žarulje (Slika 2-2.). Proizvode toplo, žuto-bijelo svijetlo koje isijava u svim smjerovima.



Slika 2-2. „Obična žarulja“ (Energetsko certificiranje)

Halogena žarulja (Slika 2-3.) je također žarulja sa žarnom niti, ali poboljšana, tako da je skoro dvostruko učinkovitija od obične žarulje sa žarnom niti. U halogenoj žarulji se nalazi halogeni plin koji reagira s atomima plinovitog volframa koji je ispario sa žarne niti. Kada

taj spoj ponovno dođe na žarnu nit, visoka temperatura ga razbije i atom volframa ponovno postane dio žarne niti. Na taj način se produljuje radni vijek žarulje. (Petrović, 1985)



Slika 2-3. Halogena žarulja (Art rasvjeta)

Reflektorske inkandescentne žarulje imaju reflektorsku oblogu unutar žarulje, koja usmjerava svjetlost u jednom smjeru. Postoje i „Parabolic Reflector“ (PAR) žarulje, koje preciznije usmjeravaju svjetlost. Proizvode oko četiri puta više svjetlosti od običnih žarulja i koriste se u akcijama spašavanja pri nepreglednim vremenskim prilikama (HGSS). Ksenonske žarulje imaju bijelu svjetlost sličnu onima iz halogenih žarulja, ali imaju mnogo duži vijek trajanja i rade pri nižim temperaturama od halogenih. Fluorescentne žarulje proizvode svjetlost kada električni izboj (luk) prođe između katoda i uzbudi (pobudi) živu i ostale plinove proizvodeći energiju, koja se pretvara u vidljivu svjetlost pomoću fosfornog premaza. U odnosu na obične žarulje koje daju jednaku svjetlost, fluorescentne žarulju upotrebljavaju 1/5 do 1/3 električne energije i traju do 20 puta duže. Fluorescentne žarulje dolaze u raznim oblicima i mogu proizvoditi tople nijanse svjetlosti slične onima iz inkandescentnih žarulja (Slika 2-4.). Budući da sadrže živu, vrlo je važno da se odlažu na odgovarajući način. Danas su veoma popularne flourescentne žarulje tipa T8 (Slika 2-5.), koje se često koriste u velikim prostorijama i komercijalnim objektima. Razlog tome je što se uključuju trenutačno te ne proizvode buku, šumove (www.americanlightingassoc.com).



Slika 2-4. Kompaktna fluorescentna žarulja (Bunnings warehouse)



Slika 2-5. T5 i T8 tip fluorescentne cijevi (Akvarij.net)

High-Intensity Discharge (HID) žarulje proizvode svjetlost kada električni izboj (luk) prođe između katoda u cijevi pod pritiskom, uzrokujući isparavanje metalnih aditiva. Takve žarulje su dugotrajne i veoma energetski učinkovite, ali ne proizvode boje svjetlosti koje su ugodne (dobre) za gledanje te se stoga uglavnom koriste u vanjskim uvjetima kao pomoćna rasvjeta.

Light Emitting Diodes (LED) žarulje proizvode svjetlost kada se napon primjeni na negativno nabijene poluvodiče, uzrokujći spajanje (kombiniranje) elektrona i proizvedu česticu svjetlosti – foton. U pojednostavljenom smislu LED žarulje su kemijski čip ugrađen u plastičnu kapsulu (Slika 2-6.). Zbog svoje male veličine, unutar jedne električne žarulje obično se nalazi više LED žarulja. LED žarulje su danas najbolji i ekonomski najisplativiji tip svjetlosnog izvora. (www.americanlightingassoc.com)



Slika 2-6. Tipovi LED žarulja (Wikipedia)

2.2. Sirovine za izradu žarulja

Prvi pokušaji upotrebe električne rasvjete su ostvareni od strane engleskog kemičara Sir Humphry Davya. Godine 1802., Davy je dokazao da električna struja može zagrijati tanke niti metala koje onda proizvode svjetlost. Nakon toga došlo je do razvoja mnogih principa stvaranja svjetlosti putem električne struje, ali sve ove metode su imale problem pri odabiru vrste materijala koji će služiti za stvaranje vidljive svjetlosti, a da on bude

povoljan za masovnu upotrebu. Prošlo je mnogo godina dok je 1879. g. Tomas Alva Edison patentirao žarulju koja daje svjetlost zagrijavanjem platine. Iako je ovo rješenje imalo malu učinkovitost, Edison je nastavio sa istraživanjem u potrazi za učinkovitim i ekonomičnim materijalom za izradu žarulje. Najveći napredak je postignut kada se za nit (vlakno), koja proizvodi svjetlost počeo koristiti materijal volfram. Razvoj volframovih niti je jedan od najvećih napredaka u proizvodnji električnih žarulja, jer su se te niti mogle proizvoditi po niskoj cijeni i trajale su duže od ostalih materijala. Unutrašnjost staklenog dijela žarulje je bez prisutstva zraka, tj. volframova nit se nalazi u vakuumu, kako ne bi moglo doći do izgaranja niti. Sama žarulja je napravljena od stakla, a novije žarulje sadržavaju unutar sebe kombinaciju plinova, najčešće argona i dušika, koji produžuju „život“ vlakna. Baza žarulje, koja se spaja na stakleni dio žarulje, se najčešće radi od aluminija, a unutarnji dio baze se sastoji od plastike radi izolacije.
(www.encyclopedia.com , www.britannica.com)

Živa je sastavni dio fluorescentnih žarulja. U električnoj žarulji se nalazi vezana na fosfornom prahu i u obliku živinih para. Količina žive u žarulji ovisi o vrsti žarulje, te o proizvođaču.

Elementarna živa je srebrnastobijeli metal, koji se pri sobnoj temperaturi nalazi u tekućem stanju. Talište žive je -38,8 °C, a vrelište 356,6°C. Pri sobnoj temperaturi polako isparava, ali njene su pare vrlo otrovne. Može negativno utjecati na ljudsko zdravlje, jer djeluje na rad mozga, bubrega i pluća. Ovisno o spoju žive, efekti na ljudsko zdravlje su razni (Tablica 2-1.). (www.encyclopedia.com)

Tablica 2-1. Klinički utjecaji elementarnih i anorganskih oblika žive (www.aircycle.com)

Oblik (stanje)	Elementarno stanje	Izvor	Ap(b)sorpcija	Osnovni učinci	Sekundarni učinci
Tekuća živa	Hg^0	Termometri, barometri, manometri, fluorescentne lampe, baterije	Kožni kontakt – minimalna apsorpcija Uzimanje hranom (gutanje) – slaba apsorpcija	Slaba apsorpcija kroz gastrointestinalni trakt ili kožu; Sustavna toksičnost je rijetka	-
Živine pare	Hg^0	Industrijski	Udisanjem	Pluća, koža, oči, desni	Centralni živčani sustav, bubrezi
Živine soli i spojevi	Hg^{+1} Hg^{+2}	Medicina, antiseptici, električne baterije, industrijski spojevi	Uzimanje hranom Kožni kontakt	Bubrezi, gstrointestinalni trakt	Centralni živčani sustav

3. Načini zbrinjavanja žarulja u svijetu i Hrvatskoj

Električni i elektronički uređaji te oprema (EE oprema) predstavljaju 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.

Električne žarulje, dakle spadaju u EE opremu, tako da se u skladu s tim i trebaju posebno odlagati. Danas, većina ambalaže u kojoj se prodaju električne žarulje imaju oznaku o načinu odlaganja, recikliranja (Slika 3-1.).



Slika 3-1. Oznaka za otpad koji je potrebno zbrinjavati odvojeno od ostalog otpada

Cjelokupni EE otpad nikako ne smije završiti niti u glomaznom, niti u komunalnom otpadu, te se mora sakupljati odvojeno od ostalih vrsta otpada kako bi se opasni dijelovi izdvojili i zbrinuli na odgovarajući način, a neopasni dijelovi (metal, staklo...) ponovno iskoristili.

U Republici Hrvatskoj se dvije tvrtke bave prikupljanjem i recikliranjem električnih žarulja (tablica 3-1.).

Tablica 3-1. Tvrtke u Hrvatskoj koje se bave prikupljanjem i recikliranjem el. žarulja.

Tvrtka	Opis
Spectra Media d.o.o.	Sjedište: Gradišćanska 20, 10000 Zagreb
Flora Vtc	Sjedište: Vukovarska 5, 33000 Virovitica

3.1. Bulb Eater

Bulb Eater ® je uređaj za recikliranje fluorescentnih žarulja (slika 3-2.). Uređaj drobi žarulje u male dijelove i sprema ih u poseban kontejner. Fluorescentne žarulje se unose kroz ulaznu cijev uređaja. Za manje od sekunde žarulja ulazi u uređaj koji ju drobi na sitne dijelove, a filtracijski sustav uređaja izvlači (usisava) kontaminirani zrak iz valjka (bubnja) da isfiltrira oslobođeni prah te živine pare. Kontaminirani (onečišćen, zagađen) zrak prolazi kroz dvije faze filtriranja. U prvoj fazi filtracije filter uhvati 99 % oslobođenih čestica prašine. U drugoj fazi filtracije uhvati se (isfiltrira) 99,99 % ostalih čestica. Nakon te dvije faze zrak je očišćen, ali i dalje sadržava živine pare. Zrak sa živinim parama se propuhuje kroz treći, završni filter. Ugljični filter ne samo da izdvaja živine pare, nego zbog svoje velike specifične površine, zadržava opasne tvari u filteru, prevodeći pare u neopasnu tvar. Nakon cijelog tog procesa čisti zrak izlazi iz ispušnog otvora. S vremenom će se spremnici napuniti sa zdrobljenim materijalom, te se stoga taj materijal treba odvesti na (daljnje) recikliranje. (http://eiph.idaho.gov/)



Slika 3-2. Uređaj Bulb Eater sa glavnim dijelovima *(http://eiph.idaho.gov/)*

Glavni dijelovi uređaja prikazani slikom 3-2 su:

1 – ciklon/prvi filter,

2 – motor drobilice,

3 – kontrolna ploča,

4 – vakuum uređaj i filter,

5 – ugljični filter,

6 – spremnik za zdrobljeni materijal,

7 – ulazna cijev.

Recikliranje i mijenjanje filtera:

Filter prve faze mijenja se dva puta po jednom spremniku. Filter druge faze se mijenja na svakih 10 punih spremnika. Filter treće faze može filtrirati preko 1 000 000 žarulja, tako da do njegovog mijenjanja najvjerojatnije neće doći, ali također i on se može reciklirati. Filtri prve i druge faze se također mogu reciklirati (proizvođač predlaže da se stave u valjak s ostalim zdrobljenim materijalom).

Kako fluorescentne žarulje i cijevi sadrže živu, one se smatraju opasnim materijalom (otpadom). Većina država ne dopušta odlaganje opasnog otpada direktno na komunalna odlagališta otpada.

Jedan od načina za ispitivanje da li je otpad opasan je TCPL test (Toxicity Characteristic Leaching Procedure). TCPL test je laboratorijski test koji simulira potencijalno ispiranje opasnog otpada pod uvjetima karakterističnim za komunalna odlagališta otpada. Ako koncentracija žive u vodi koja je prošla kroz uzorak zdrobljenih fluorescentnih žarulja prelazi 0,2 mg/litri, taj se uzorak (otpad) smatra opasnim.

3.2. Blubox

Prvo automatsko integrirano postrojenje za recikliranje električnih žarulja i televizora sa ravnim zaslonom (Slika 3-3.). Otpadne električne žarulje i televizori s ravnim ekranom imaju zajednički problem, a to je da sadrže živu.

Blubox koristi suhi, mehanički proces recikliranja. Žarulje i televizori s ravnim ekranom se ubacuju u shredder (drobilicu) i onda u rotacijski mikser u proces koji traje nekoliko sati. Živa i ostali rijetki metali su isisani kroz filtere u postrojenju i skupljeni u zatvorene spremnike (bubnjeve). Nakon tog procesa ostaje zdrobljeno staklo s raznim primjesama materijala. Magnet izdvaja željezne materijale iz stakla. Potom se pomoću separatora s vrtložnim strujama (engl. eddy current) izdvaja mješavina aluminija, plastike i ostalih materijala. Bubnjasto (rotacijsko) sito zatim sortira materijal u razne klase stakla, aluminija i plastike.

Blubox učinkovito reciklira opasan otpad u vrijedan materijal koji se može prodavati na tržištu. Velika prednost uređaja je to što je univerzalan, može reciklirati sve vrste električnih žarulja (obične, CFL, halogene ...).

Frakcije, ostaci, produkti recikliranja su:

- Željezne elektrode i žice,
- Staklo,
- Završne kape žarulja (aluminij),
- Plastika,
- Prah (fluorescentni prah i mala količina staklene prašine).

Sigurnost BLUBOX uređaja:

Blubox zahtjeva samo troje ljudi za potpun i siguran rad uređaja. Ne dolazi do prodora žive iz uređaja jer se on nalazi pod negativnim pritiskom. Također, na uređaju se nalazi i nekoliko sigurnosnih tipki za zaustavljanje rada uređaja u slučaju opasnosti. Čak i tada, u uređaju se održava negativan pritisak (vakuum).

Ovakva tehnologija se zasad jedino koristi u zemljama poput Austrije, Švicarske i SAD-a, gdje je gospodarski standard višestruko veći nego u Hrvatskoj, pa samim time i dostupnost novim tehnologijama (http://www.blubox.ch/technologies/blubox).



Slika 3-3. Prikaz sheme rada BLUBOX uređaja

3.3. Rad u pogonu tvrtke Spectra Media d.o.o.

Praktični dio rada obavljen je u pogonu tvrtke Spectra Media d.o.o., u Virovitici, pod vodstvom voditelja pogona g. Vlade Bigca (Slika 3-9.).

U pogonu se recikliraju sve vrste EE otpada, te postoje i posebni strojevi za recikliranje električnih žarulja. Iz cijele Hrvatske se sakupljaju otpadne žarulje odvojeno ili pomiješane sa ostalim otpadom. Nakon prikupljanja dovoljne količine žarulja one se šalju u dva uređaja za recikliranje. Uređaji su smišljeni i konstruirani od samih djelatnika tvrtke, te su ih sastavljali po ekonomskim mogućnostima tvrtke i vlastitom znanju i iskustvu.

PRVI UREĐAJ

U ovaj uređaj se žarulje stavljaju ručno u cijev za prihvat žarulja, koja se zatvara automatski. Nakon zatvaranja cijevi, pritiskom na dugme žarulje se drobe pomoću drobilice čekićare (Slika 3-4.).



Slika 3-4. Prvi uređaj za recikliranje električnih žarulja

Cijelo vrijeme, dok uređaj radi, uključen je i sustav za usis i filtraciju zraka kako ne bi došlo do oslobađanja prašine i mogućih štetnih plinova u radnu atmosferu. U filtru se sakuplja prašina, fosforni prah i moguće štetne kemikalije – luminofor (odbačene anorganske kemikalije koje se sastoje od opasnih tvari ili ih sadrže). Zdrobljene žarulje

padaju u spremnik koji se stavlja ispod uređaja. Spremnik se puni mješavinom stakla i aluminijskih kapa (slika 3-5.).



Slika 3-5. Spremnik sa zdrobljenim električnim žaruljama

Kada je spremnik pun materijala, odvodi se na daljnji postupak recikliranja na slijedeći uređaj. Kada se filtri napune sa dovoljno luminofora, mijenjaju se, a puni filtri se odlažu kao posebna kategorija otpada.

DRUGI UREĐAJ

Drugi uređaj isto radi u zatvorenom sustavu, kako ne bi došlo do ispuštanja prašine u radnu atmosferu. Spremnik sa zdrobljenim žaruljama se stavlja na posebno postolje, koje kada se uređaj zatvori sigurnosnim vratima, podiže spremnik i istresa materijal iz njega u pužni (spiralni) transporter koji povlači materijal u rotacijsko sito (perforirani lim) (Slika 3-6. i Slika 3-7.).



Slika 3-6. Automatski podizač spremnika u uređaj za recikliranje



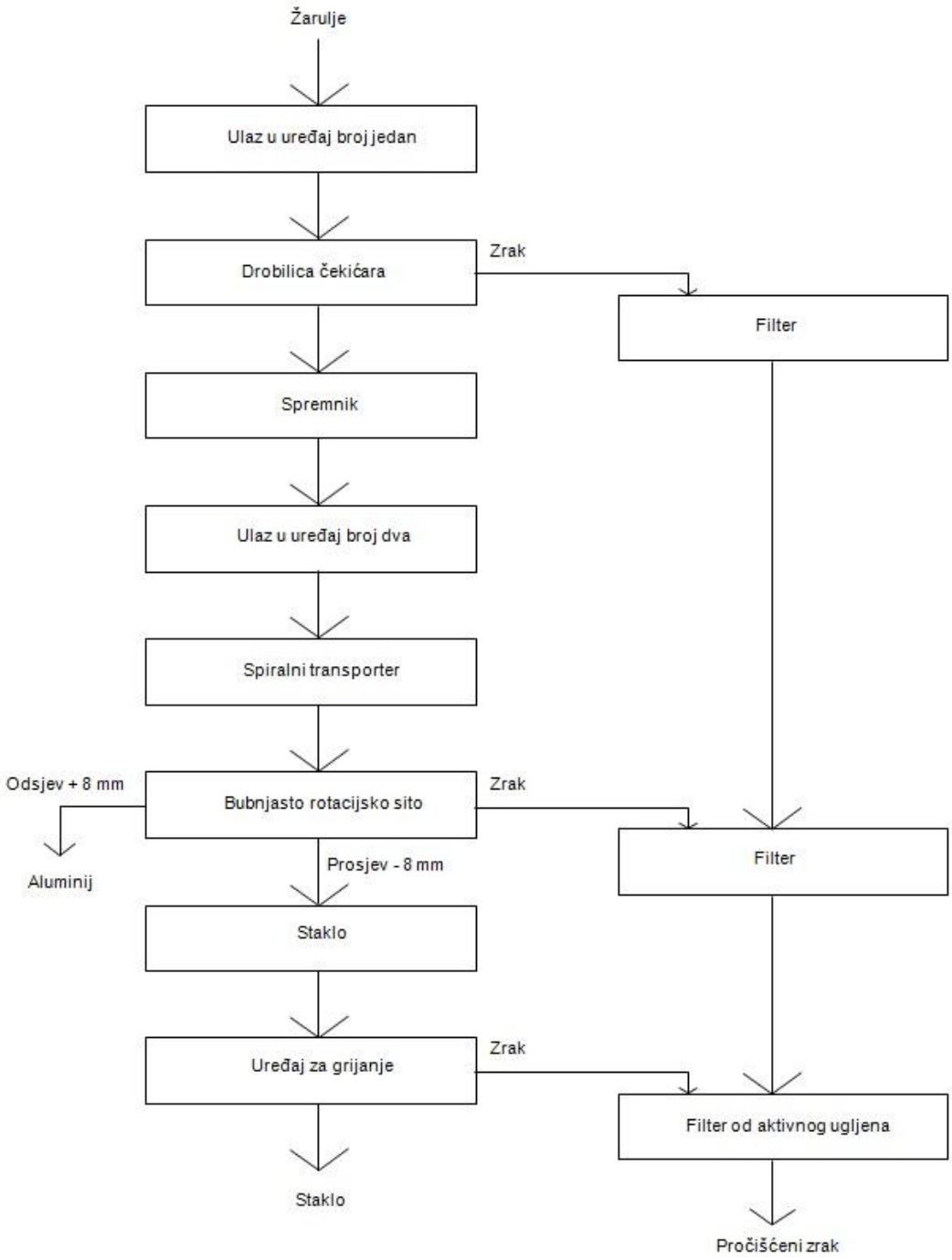
Slika 3-7. Spiralni transporter

Otvori sita su okrugli, promjera 8 mm. Kroz otvore sita prolazi staklo (prosjev), a dalje kroz uređaj prolaze aluminijske kape (odsjev). Staklo se dalje transportira do uređaja koji ga zagrijava na temperaturu od 80 °C. Time se postiže isparavanje ostataka žive, ostalih na staklu.

Usisni sustav povlači zrak koji odlazi u filter od aktivnog ugljena (Slika 3-8.). Sav zrak koji je prošao kroz primarne filtre prolazi na kraju kroz filtar od aktivnog ugljena koji na kraju ispušta pročišćeni zrak u atmosferu. Na kraju kao sekundarna sirovina, iz uređaja izlazi mješavina stakla kao jedan produkt te mješavina aluminijskih kapa kao drugi produkt.



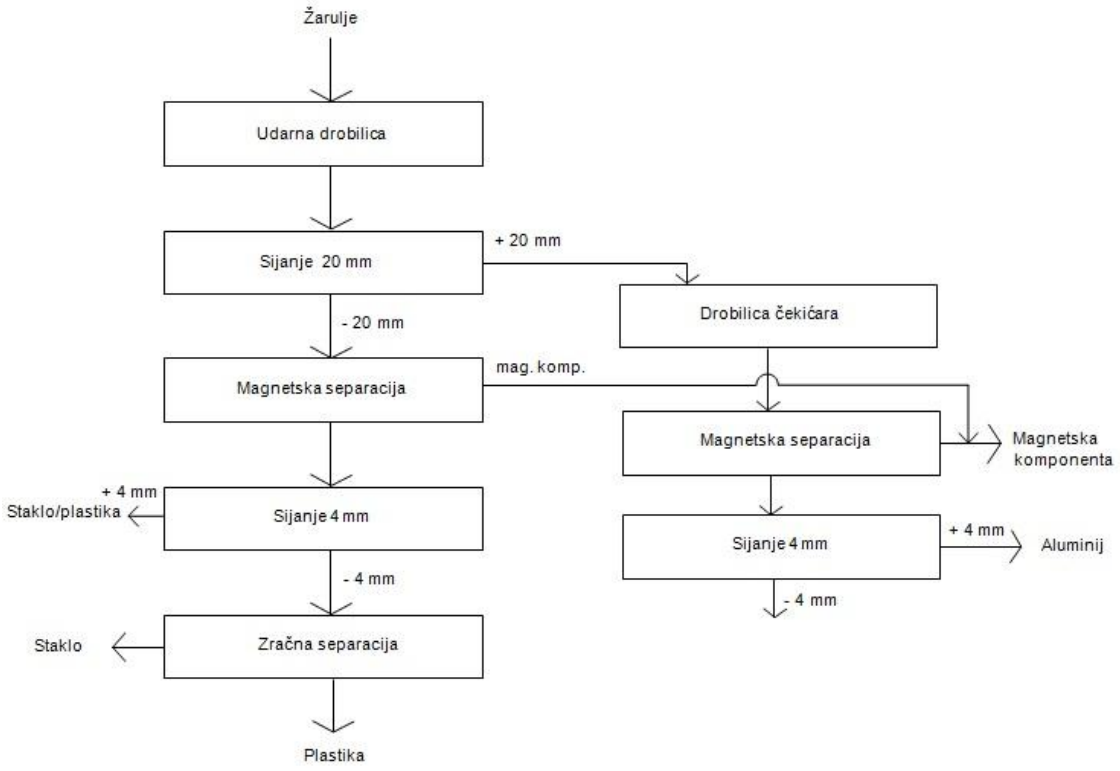
Slika 3-8. Uređaj za filtraciju zraka s aktivnim ugljenom



Slika 3-9. Blok dijagram pogona za recikliranje elektičnih žarulja Spectra Media d.o.o.

4. Eksperimentalni dio

Eksperimentalni dio diplomskog rada obavljen je u laboratoriju za oplemenjivanje mineralnih sirovina i zaštitu okoliša Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta. Nakon probnih ispitivanja recikliranja žarulja uz pomoć mentora, određena je shema recikliranja koja bi bila učinkovita. Proces recikliranja žarulja započinje drobljenjem uzorka u udarnoj drobilici, nakon čega slijedi sijanje na situ s veličinom otvora od 20 mm. Prosjev sita odlazi na magnetsku separaciju kako bi se odvojili magnetični (željezni) dijelovi. Ostatak (nemagnetični dio) ponovno odlazi na sijanje, ali ovaj put na sito s veličinom otvora od 4 mm. Odsjev sita (veličina otvora 4 mm) uglavnom sačinjava plastika, a prosjev je mješavina stakla i plastike koja odlazi na zračnu separaciju. Odsjev sita veličine otvora od 20 mm odlazi u drobilicu čekićaru, nakon koje slijedi magnetska separacija koja odvaja magnetsku komponentu, a ostatak ide na sito s veličinom otvora od 4 mm, čiji odsjev čini aluminij. Proces je prikazan na Slici 4-1.



Slika 4-1. Blok dijagram eksperimentalnog rada u laboratoriju

4.1. Materijal

Za eksperimentalni dio rada korištene su obične žarulje, jer se nalaze u najširoj upotrebi te ne sadržavaju nikakve štetne plinove. Smatramo da će u budućnosti biti sve više ovakvih tipova žarulja dostupnih za recikliranje, zbog uvođenja štednih žarulja na tržište i postepenog povlačenja običnih žarulja iz prodaje (Slika 4-2.).



Slika 4-2. Žarulje korištene u eksperimentalnom dijelu rada

4.2. Uređaji i oprema

4.2.1. Udarna drobilica

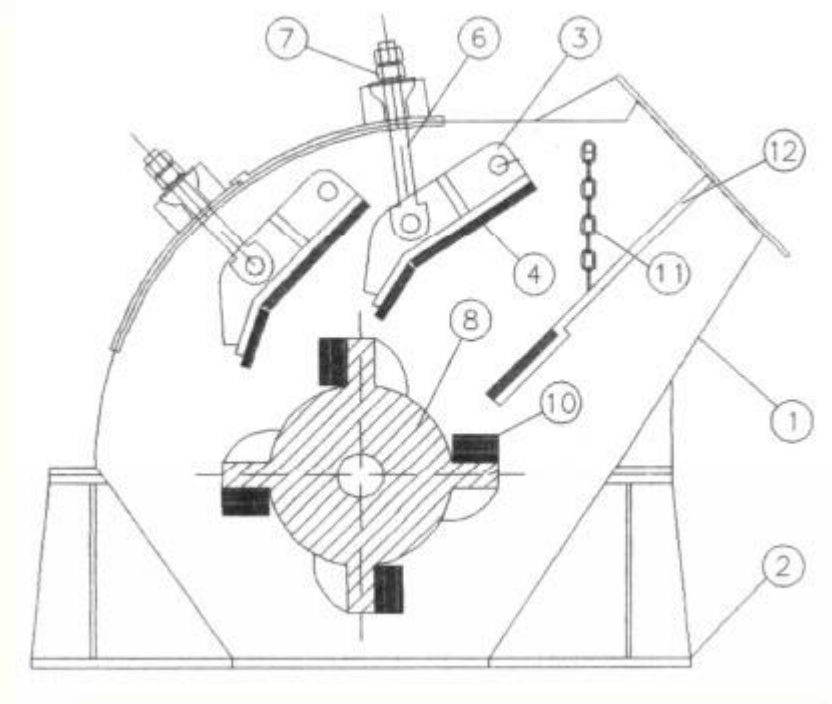
Drobljenje je prvi stupanj u procesu sitnjenja čvrstih čestica, čime se postiže sitnjenje čvrstog materijala, oslobađanje korisne od jalove komponente te određeni granulometrijski sastav. Udarnih drobilica ima više vrsta i tipova, ali sve imaju jednak princip drobljenja (Slika 4-3.). Kod udarnih drobilica preko udarnih greda u udaru sudjeluje cijela masa rotora. Udarne drobilice sitne materijal na principu udara bez oslonca, gdje do sitnjenja dolazi uslijed udara udarne grede u materijal, odbačenog materijala u odbojnu ploču i međusobnog sudara materijala. Imaju stupanj drobljenja do 20:1 te vrlo često mogu zamijeniti i dva stupnja drobljenja (Bedeković i Salopek, 2008).

Specifikacije udarne drobilice su:

- brzina rotora: od 20 m/s do 60 m/s,

- kapacitet: do 3000 t/h,

- stupanj drobljenja: do 20:1.



Slika 4-3. Glavni dijelovi udarne drobilice (Bedeković i Salopek, 2008)

Glavni dijelovi udarne drobilice sa Slike 4-3 su:

1. Kučište,

2. Postolje,

3. i 4. Odbojne ploče,

6. i 7. Vijci za regulaciju otvora,

8. Rotor,

10. Udarne grede,

11. Lančana zavjesa,

12. Rešetka.

4.2.2. Drobilica čekićara

Drobilice čekićare se sastoje od jednog do dva rotora s čekićima raznih oblika koji rotiraju brzinom od 500 do 3000 okretaja u minuti oko horizontalne osovine. Materijal pada na

rotor sa čekićima koji se vrti velikom brzinom u kućištu. Do drobljenja dolazi prilikom udara čekića rotora u materijal, udara materijala o zaštitnu oblogu kućišta, kao i međusobnog udara materijala koji se usitnjava. Na dnu imaju izmjenjivu rešetku (razmak elemenata od 5 mm do 20 mm) koja određuje granulometrijski sastav izdrobljenog materijala. Veličina ulaznog zrna je do 200 mm, a masa čekića do 100 kilograma (Slika 4-4.). (Bedeković i Salopek, 2008)



Slika 4-4. Korištena drobilica čekićara sa glavnim dijelovima

1. Ulaz materijala

2. Elektromotor

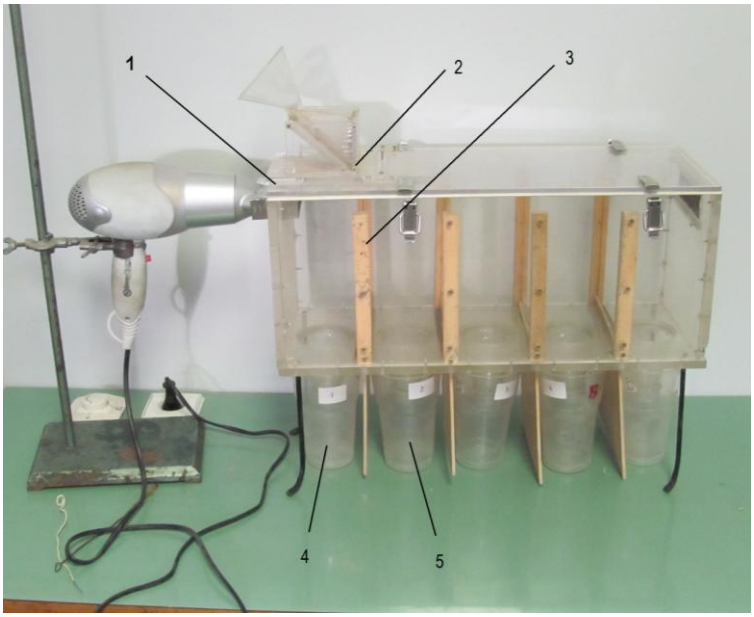
3. Izlaz materijala

4. Položaj rotora sa čekićima unutar kućišta

5. Kućište

4.2.3. Zračni separator

Zračna separacija se temelji na taloženju čestica u zračnoj struji, pri čemu na separaciju utječu svojstva materijala kao što su gustoća, masa i oblik zrna. Osim svojstva materijala na zračnu separaciju utječu i parametri klasifikatora poput visine pregrade klasifikatora, brzine zračne struje i udaljenosti ulaska matrijala od izvora zračne struje. U ovisnosti od svih ovih svojstava i parametara određuje se oblik pada (parabole), pod kojim zrna padaju u određene komore zračnog klasifikatora. Brzina zračne struje utječe na izgled parabole pod kojom se zrna talože, tako da najveća zrna padaju po najkraćoj paraboli, a sitnija zrna po duljim parabolama. Određivanjem visine pregrade parabola materijala se presijeca čime se određuje koja veličina zrna materijala upada u pojedini produkt (koncentrat ili jalovinu). Pomicanjem mjesta ulaza parabola materijala se približava ili udaljuje od pregrade između produkata. Za eksperimentalni dio rada korištena je klasa materijala: - 4 mm. Na Slici 4-5. se nalazi prikaz horizontalnog zračnog klasifikatora, a u Tablici 4-1. se nalaze vrijednosti radnih varijabli zračne separacije.



Slika 4-5. Uređaj za zračnu separaciju

Glavni dijelovi zračnog separatora na slici su:

1 – ulaz zračne struje,

2 – mjesto ulaza materijala u uređaj,

3 – separacijski nož,

4 – jalovina,

5 – koncentrat.

Tablica 4-1. Vrijednost radnih varijabli zračne separacije

Test broj	Visina pregrade (mm)	Brzina zračne struje (m/s)	Udaljenost ulaznog otvora (mm)
1	64	7,5	20
2	64	11,5	50
3	136	7,5	50
4	136	11,5	20
5	100	9,5	35
6	64	7,5	50
7	64	11,5	20
8	136	7,5	20
9	136	11,5	50
10	100	9,5	35
11	40	9,5	35
12	160	9,5	35
13	100	6	35
14	100	13	35
15	100	9,5	10
16	100	9,5	60
17	100	9,5	35

4.2.4. Magnet (magnetska separacija)

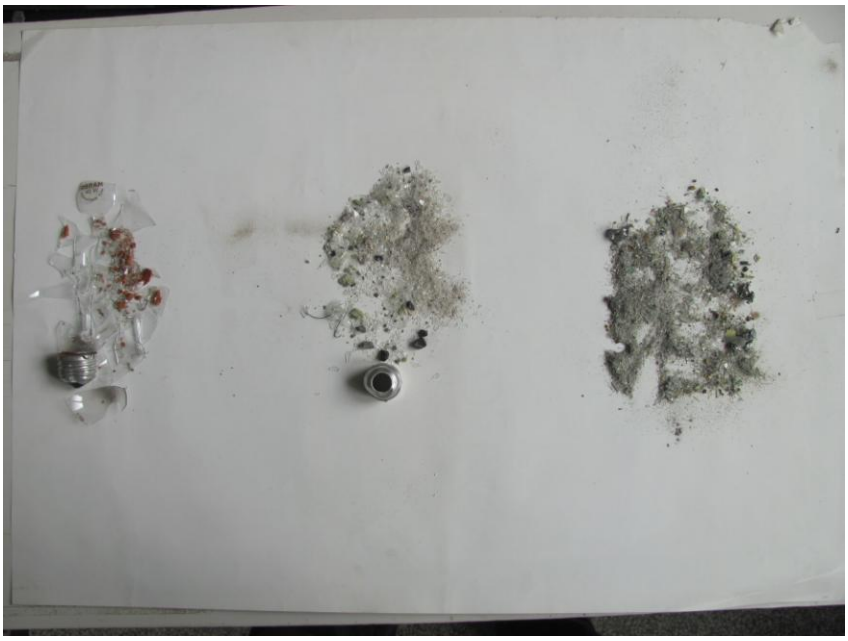
Magnetska separacija (koncentracija) je postupak za razdvajanje magnetičnih od nemagnetičnih tvari. Najčešće se koristi za oplemenjivanje ruda željeza, a ponekad se koristi za izdvajanje željeznih primjesa iz nemetalnih sirovina. Zbog jednostavnosti i bolje kontrole uvjeta izvođenja i ponavljanja eksperimenta koristio sam jaki „ručni“ magnet koji je vrlo učinkovito izdvajao magnetične dijelove električnih žarulja (Slika 4-6.). U tehnološkom procesu bi se ovakav način separacije zamijenio sa nekim magnetskim separatorom.



Slika 4-6. „Ručni“ magnet

5. Rezultati i diskusija

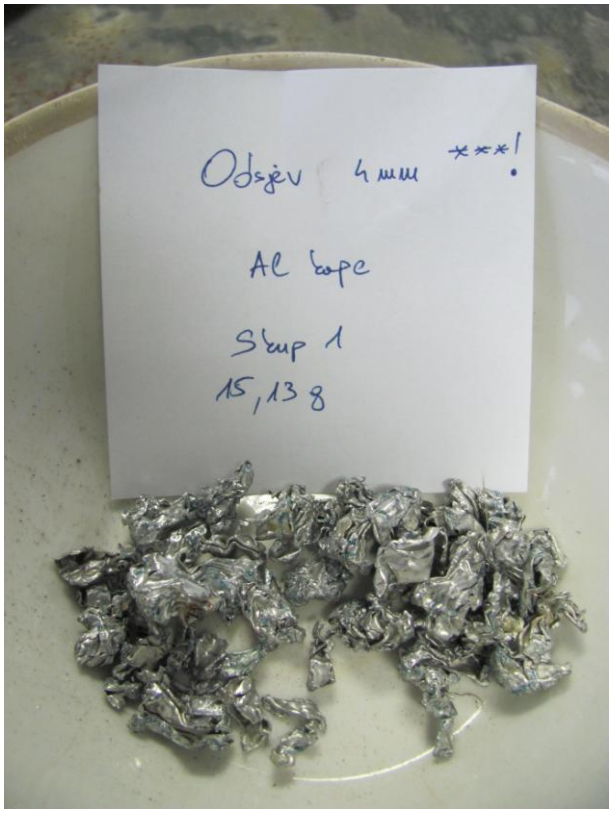
Ispitivanje se radilo na uzorku od 40 običnih žarulja, pri čemu su neke uvođene pojedinačno u proces recikliranja (jednu po jednu), a neke su uvođene u skupovima od nekoliko žarulja. Unatoč jednakoj vrsti žarulja i u nekim slučajevima, jednakim proizvođačima svaka žarulja ima različitu masu. Početnim ispitivanjima u laboratoriju na tri tipa drobilice (čeljusna, udarna, čekićara) određeno je da je za izdvajanje pojedinih komponenti iz električnih žarulja najbolje koristiti udarnu drobilicu i drobilicu čekićaru. Kod čeljusne drobilice su zdrobljeni dijelovi preveliki za daljnju separaciju, te nije došlo do raščina (oslobađanja) pojedinih komponenti žarulja. Slika broj 5-1. prikazuje žarulju nakon drobljenja u čeljusnoj drobilici, udarnoj drobilici i drobilici čekićari.



Slika 5-1. Žarulja nakon drobljenja u čeljusnoj, udarnoj i drobilici čekićari
(s lijeva nadesno)

Prvi korak eksperimentalnog dijela je drobljenje u udarnoj drobilici, čime je dobiven raščin koji je omogućio odvajanje krupnijih dijelova žarulje (aluminija, željeznih dijelova) na situ s veličinom otvora od 20 mm. Odsjev sita (+ 20 mm) odlazi u drobilicu čekićaru, a prosjev na magnetsku separaciju u kojoj se izdvajaju magnetični dijelovi žarulje. Nemagnetični dijelovi odlaze na sijanje na sito s veličinom otvora od 4 mm, gdje u odsjevu u klasi 20/4 mm ostaju uglavnom plastični dijelovi žarulje s primjesama stakla. Prosjev sita (klasa – 4 mm) je mješavina plastike i stakla koja ide u zračni separator.

Materijal koji se drobio u drobilici čekićari odlazi na magnetsku separaciju. Razlog sekundarnog drobljenja u drobilici čekićari je postizanje boljeg raščina jer su nakon udarne drobilice neki željezni dijelovi žarulje još bili spojeni sa staklom. Ovako je sekundarnim drobljenjem postignut zadovoljavajući raščin i učinkovito odvajanje magnetičnih dijelova. Ostali nemagnetični dio materijala odlazi na sito s veličinom otvora od 4 mm, gdje se kao odsjev savršeno odvaja aluminij (Slika 5-2.), a prosjeva nema ili je zanemariv.



Slika 5-2. Dio izdvojenog aluminija

Kao što je vidljivo iz Tablice broj 5-3. prilikom drobljenja je došlo do gubitka materijala. Materijal može zaostati u samoj drobilici, može se izgubiti (prosuti) zbog nepažnje ili neiskustva osobe koja izvodi eksperiment te zbog drugih razloga. Zbroj mase prosjeva i mase odsjeva nakon prolaska žarulje kroz drobilicu nije jednak masi te žarulje prije ulaska u drobilicu. Uspješno je došlo do izdvajanja magnetičnih dijelova žarulje. U tehnološkom procesu, magnetsku separaciju bi trebao obavljati neki uređaj, za razliku od postupka pomoću ručnog magneta. Izdvojena je većina, ako ne i svi magnetični dijelovi žarulje, što je omogućeno dobrim raščinom i time da su magnetični dijelovi žarulje „dobro pozicionirani“, tj. nisu spojeni sa drugim dijelovima žarulje. U tablici broj 5-2. nalazi se

masa izdvojene magnetske komponente. Također je došlo i do dobrog izdvajanja aluminija iz žarulja. Iz tablice broj 5-4. se može očitati masa izdvojenog aluminija. Iz žarulja su se učinkovito izdvojili aluminij i magnetični dijelovi, što je već samo po sebi veliki uspijeh u recikliranju. Dobivene su sekundarne sirovine za prodaju, a izdvojen je otpad iz žarulja koji bi završio na odlagalištu otpada. U tablici broj 5-5. prikazane su količine materijala koja treba otići u zračni separator.

Uspješnost zračne separacije određuje se na temelju parametara kvalitete koncentrata i iskorištenja korisne komponente (Tablica 5-1.).

Kvaliteta koncentrata (K_k) je postotni sadržaj korisne komponente u koncentratu kao krajnjem produktu.

$$K_k = \frac{m_k}{K} * 100\ (\%) \tag{5-1}$$

gdje je:

K – masa koncentrata (kg),

m_k – masa korisne komponente u koncentratu (kg).

Iskorištenje korisne komponente (I_k) se definira kao omjer mase korisne komponente u koncentratu i mase korisne komponente u ulazu. Pokazuje koliko je korisne komponente iz ulaza završilo u koncentratu.

$$I_k = \frac{K \cdot k}{U \cdot u} \cdot 100 \quad (\%) \tag{5-2}$$

gdje je:

K – masa koncentrata (kg),

U – masa ulaza (kg),

k – sadržaj korisne komponente u koncentratu (%),

u – sadržaj korisne komponente u ulazu (%).

Skraćivanjem je pripremljen uzorak za zračnu separaciju. Masa skraćenog uzorka iznosi 50 grama, od čega je 47 grama stakla i 3 grama plastike. Korisna komponenta je staklo jer je staklo materijal koji se da vrlo dobro ponovno koristiti, tj. reciklirati, a po svojim svojstvima je staklo vrlo inertno, nema značajnog negativnog utjecaja na okoliš. Nekorisna komponenta bila je plastika. Za očekivati je da će staklo zbog svoje veće gustoće (2,5 g/cm^3) padati po kraćoj paraboli od plastike kojoj se gustoća kreće u rasponu od 0,85 g/cm^3 do 1,4 g/cm^3. Analiziranjem rezultata zračne separacije (tablica 5-1.) možemo vidjeti da u testu broj 12 kvaliteta koncentrata iznosi 100 %, ali je iskorištenje korisne komponente samo 1,42 %, čemu je razlog visina pregrade od 160 mm (najviša u testiranju). Ostali materijal jednostavno nije mogao prijeći u koncentrat zbog pregrade koja je „sijekla“ parabolu pada materijala. Pri srednjim brzinama zračne struje i srednje visoko postavljenoj pregradi (testovi 15, 16, 17) iskorištenje korisne komponente koncentrata je nisko. Promatrajući test broj 4 i 9, gdje su visine pregrade i brzine zračne struje jednake, a razlikuje se jedino udaljenost ulaznog otvora od izvora zračne struje, vidi se da je kvaliteta koncentrata u oba testa slična, ali je iskorištenje korisne komponente skoro dvostruko veće u testu broj 4. Razlog tome je što je u testu broj 4 udaljenost ulaznog otvora od izvora zračne struje manja u odnosu na test broj 9. To je bilo i za očekivati, jer uz veću blizinu, zračna struja ima veći utjecaj na materijal.

U svim testovima je kvaliteta koncentrata visoka, ali je malo iskorištenje korisne komponente. Jedino je u testu broj 7 došlo do značajnijeg iskorištenja korisne komponente i taj test je dao najbolje rezultate. Jedino pri takvim vrijednostima radnih varijabli zračna separacija ima zadovoljavajuće rezultate, ali sveukupno nije došlo do bitnijeg razdvajanje korisne od nekorisne komponente u zračnoj separaciji.

Tablica 5-1. Rezultati zračne separacije

Test broj	Kvaliteta koncentrata (%)	Iskorištenje korisne komponente koncentrata (%)
1	98,26	29,93
2	98,93	29,43
3	99,07	4,51
4	98,39	21,96
5	99,67	32,46
6	99,55	14,29
7	97,89	66,25
8	98,70	13,11
9	99,66	12,68
10	96,77	22,79
11	97,89	32,28
12	100,00	1,42
13	93,38	6,45
14	99,49	34,01
15	92,14	11,04
16	96,50	10,88
17	94,70	16,50

Tablica 5-2. Mase izdvojene magnetske komponente u eksperimentalnom dijelu rada

BROJ ŽARULJE	Masa žarulje (g)	Masa izdvojene magnetske komponente (g)
1	22,04	0,41
2	22,91	0,14
3	22,29	0,10
4	23,13	0,51
5	23,11	0,43
6	21,90	0,34
7	22,82	0,17
8	22,66	0,23
9	22,75	0,37
10	26,04	0,61
11	26,27	0,54
12	24,42	0,71
13	21,83	0,33
14	28,79	0,64
15	23,30	0,44
16	22,65	0,46
skup žarulja	598,25	12,71

Tablica 5-3. Mase prosjeva i odsjeva na situ s veličinom otvora od 20 mm

BROJ ŽARULJE	Masa žarulje (g)	Masa prosjeva - 20 mm (g)	Masa odsjeva + 20 mm (g)
1	22,04	16,37	2,99
2	22,91	17,59	1,71
3	22,29	15,09	4,4
4	23,13	17,25	2,21
5	23,11	17,92	2,95
6	21,90	18,45	2,71
7	22,82	19,84	1,89
8	22,66	20,07	4,03
9	22,75	19,48	2,47
10	26,04	21,58	3,53
11	26,27	22,17	3,54
12	24,42	20,45	2,6
13	21,83	18,19	1,87
14	28,79	23,92	3,85
15	23,30	19,43	2,43
16	22,65	18,92	1,74
skup žarulja	598,25	489,33	73,00

Tablica 5-4. Masa izdvojenog aluminija iz žarulja

BROJ ŽARULJE	Masa žarulje (g)	Masa izdvojenog aluminija (g)
1	22,04	0,86
2	22,91	1,09
3	22,29	0,73
4	23,13	1,08
5	23,11	1,11
6	21,90	0,93
7	22,82	1,02
8	22,66	1,08
9	22,75	1,13
10	26,04	1,15
11	26,27	1,19
12	24,42	1,14
13	21,83	0,89
14	28,79	1,20
15	23,30	1,07
16	22,65	1,08
skup žarulja	598,25	29,10

Tablica 5-5. Masa izdvojenog materijala za zračnu separaciju

BROJ ŽARULJE	Masa žarulje (g)	Masa prosjeva - 4 mm (g) (materijal koji ulazi u zračni separator)
1	22,04	14,38
2	22,91	13,42
3	22,29	12,98
4	23,13	14,22
5	23,11	15,35
6	21,90	16,32
7	22,82	17,48
8	22,66	16,42
9	22,75	17,3
10	26,04	19,93
11	26,27	18,78
12	24,42	17,62
13	21,83	15,34
14	28,79	19,15
15	23,30	17,47
16	22,65	15,95
skup žarulja	598,25	403,96

6. Zaključak

Porastom količine otpada u današnjem svijetu, pogotovo EE otpada, dolazi do velikog zahtjeva za recikliranjem tog otpada. Recikliranje ima mnoge prednosti poput smanjenja troškova proizvodnje, smanjenja količine otpada za odlaganje, smanjenja potrošnje energije i emisija stakleničkih plinova te ponovno iskorištenje neobnovljivih sirovina.

Smanjenjem količine otpada koje bi završilo na odlagalištu otpada doprinosi se očuvanju okoliša. Smisao recikliranja je separiranje različitih materijala koji će se koristiti kao sekundarna sirovina u proizvodnji. Testovima u ovom radu pokazano je da se električne žarulje mogu reciklirati, tj. da se neki njezini dijelovi mogu koristiti kao sekundarna sirovina, poput aluminija koji se vrlo jednostavno separira uz veliku čistoću sirovine. Tvrtke poput Spectra Medie d.o.o., koje ne mogu prodati usitnjeno staklo iz električnih žarulja na tržište, koriste to isto staklo kao inertan građevinski materijal pri radovima u vlastitom pogonu, a posebno zbrinjavaju opasan otpad, čime spriječavaju njegovo ispuštanje u okoliš. Tehnološki proces recikliranja električnih žarulja prihvatljiv je i s aspekta zaštite okoliša jer nema štetnih emisija u atmosferu zbog učinkovitog sustava otprašivanja, a postupak recikliranja je suh, tako da ne dolazi do stvaranja otpadnih voda. Što se tiče zračne separacije i odvajanja stakla i plastike jedino su pri radnim parametrima iz testa broj 7 postignuti relativno zadovoljavajući rezultati. Daljnjim ispitivanjima ili možda nekom drugom metodom separacije bi se vjerojatno postigli bolji rezultati, jer za tehnološki proces zračna separacija daje slabe rezultate. Uz pravilan sustav gospodarenja otpadom i boljom informiranošću javnosti o štetnosti pojedinih vrsta otpada, ali i o mogućnosti iskorištenja sekundarnih sirovina, došlo bi do unaprijeđenja kvalitete okoliša i gospodarske situacije lokalnih zajednica zbog smanjenja količine otpada koji se odlaže i povećanjem količine sekundarnih sirovina koje bi se prodavale na tržištu, te samim time i omogučila financiranje iz fondova Europske unije.

7. Literatura

Akvarij.net. URL: http://www.akvarij.net/index.php/slatkovodna-akvaristika-othermenu-43/urea273enje-othermenu-119/661-rasvjeta-biljnih-akvarija (1.4.2015.)

American Lighting Association. URL: https://www.americanlightingassoc.com/Lighting-Fundamentals/Light-Sources-Light-Bulbs.aspx (2.5.2015.)

Art rasvjeta. URL: http://art-rasvjeta.hr/mobile__halogene-zarulje-cijena/prodaja/jdr-c-gu10-230v-50w (13.3.2015.)

BEDEKOVIĆ, G., SALOPEK, B. 2008. Upute i podloge za laboratorijske vježbe iz predmeta oplemenjivanje mineralnih sirovina 1: interna skripta, Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

Blubox. URL: http://www.blubox.ch/technologies/blubox (15.5.2015.)

Bulb Eater. URL:http://dbcms.s3.amazonaws.com/media/files/301b29c2-4053-4ce1-b723-2d884ef7914d/Bulb%20Eater%C2%AE%203%20Owners%20Manual%201-16-15.pdf (15.5.2015.)

Bulb Eater. URL:http://eiph.idaho.gov/EH/Solid%20Waste/Presentations/02-16-12%20SWC/The%20Bulb%20Eater%C2%AE%20Lamp%20Crusher.pdf (15.5.2015.)

Bunnings warehouse. URL: http://www.bunnings.com.au/philips-18w-es-warm-white-genie-cfl-globe-2-pack_p4320283 (15.3.2015.)

Encyclopedia Britannica. URL: http://www.britannica.com/technology/incandescent-lamp (5.5.2015.)

Encyclopedia.com. URL: http://www.encyclopedia.com/topic/Light_Bulb.aspx (2.5.2015.)

Encyclopedia.com. URL: http://www.encyclopedia.com/topic/Mercury_(Metal).aspx (5.5.2015.)

Energetsko certificiranje. URL: http://www.energetskocertificiranje.com.hr/bolji-energetski-razred-uz-energetski-ucinkovite-led-zarulje/ (13.3.2015.)

NARODNE NOVINE br. 74/2007, Pravilnik o gospodarenju otpadnim električnim i elektroničkim uređajima i opremom, Zagreb: Narodne novine d.d.

NARODNE NOVINE br. 94/13, Zakon o održivom gospodarenju otpadom, Zagreb: Narodne novine d.d.

PETROVIĆ, D., 1985. Električno osvetljenje. Beograd: Tehnička knjiga

Racunalo.com. URL: www.racunalo.com/wp-content/uploads/2013/01/elektromagnetski-spektar.jpeg (24.4.2015.)

Recikliraj.hr. URL: http://recikliraj.hr/recikliranje-fluorescentnih-cijevi-i-zarulja/ (18.4.2015.)

Wikipedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/LED_lamp (5.5.2015.)