

## Recikliranje rasvjetne opreme

Aleksandra Anić Vučinić, dr.sc., Nina Črnila, mag. ing. oecoing., Veljko Filipan, prof.dr.sc.,  
Kristina Kosor, mag. ing. oecoing., Predrag Tepeša, doc.dr.sc.

### SAŽETAK

Gospodarenje rasvjetnom fluorescentnom opremom unutar gospodarenja elektroničkim i električnim otpadom predstavlja problem zbog žive koju fluorescentne svjetiljke sadrže, zbog čega se uslijed svoje dotrajalosti klasificiraju kao opasan otpad. Osim što sadrže komponente štetne za okoliš i zdravlje ljudi, fluorescentne svjetiljke sadrže i korisne materijale koji se mogu upotrijebiti kao sekundarne sirovine. Stoga, neodgovorno odbacivanje takvog otpada ima dvostruku štetu, bacaju se potencijalne sirovine i onečišćuje se okoliš. Živa unutar fluorescentnih svjetiljki otežava postupak recikliranja, pa je stoga potrebno neprestano razvijati učinkovitije tehnologije. Cilj recikliranja je proizvesti lomljeno staklo kategorizirano kao neopasan otpad, odnosno što učinkovitije ukloniti fosforni prah onečišćen živom, a otpadni aluminij iskoristiti kao sekundarnu sirovinu.

U ovom radu prikazana su laboratorijska ispitivanja uklanjanja žive zagrijavanjem uzoraka lomljenog stakla fluorescentnih cijevi i žarulja. Uzorci su zagrijavani na temperaturama od 50, 100 i 150 °C u vremenskim periodima od 15 i 30 min. . Rezultati pokazuju da optimalna temperatura zagrijavanja iznosi 100 °C, pri kojoj se lomljeno staklo kategorizira kao neopasan otpad.

Ključne riječi: Recikliranje, fluorescentne svjetiljke, živa, lomljeno staklo

## Recycling of lighting equipment

### ABSTRACT

Due to its deteriorated condition fluorescent lighting equipment are classified as hazardous waste. Besides containing components harmful to the environment and human health, fluorescent lamps also contain useful materials that can be used as a secondary raw material. Therefore, the irresponsible (unadequately) discarding of such waste is a double damage, casting away a potential raw material and polluting the environment. Mercury in the fluorescent lamps complicates the recycling process, and it is therefore necessary to continually develop more efficient technology. The aim of recycling is to produce broken glass categorized as non-hazardous waste, and to effectively remove phosphorus powder contaminated with mercury, providing reuse of aluminum as secondary raw.

This paper describes the laboratory tests of mercury removal by heating samples of crushed glass of bulbs and fluorescent tubes. The samples were heated at temperatures of 50, 100 and 150 ° C in intervals of 15 and 30 min. According to the results, the optimal heating temperature is 100 ° C, at which the broken glass is categorized as non-hazardous waste.

Keywords: Recycling, fluorescent lamps, mercury, broken glass

## 1. UVOD

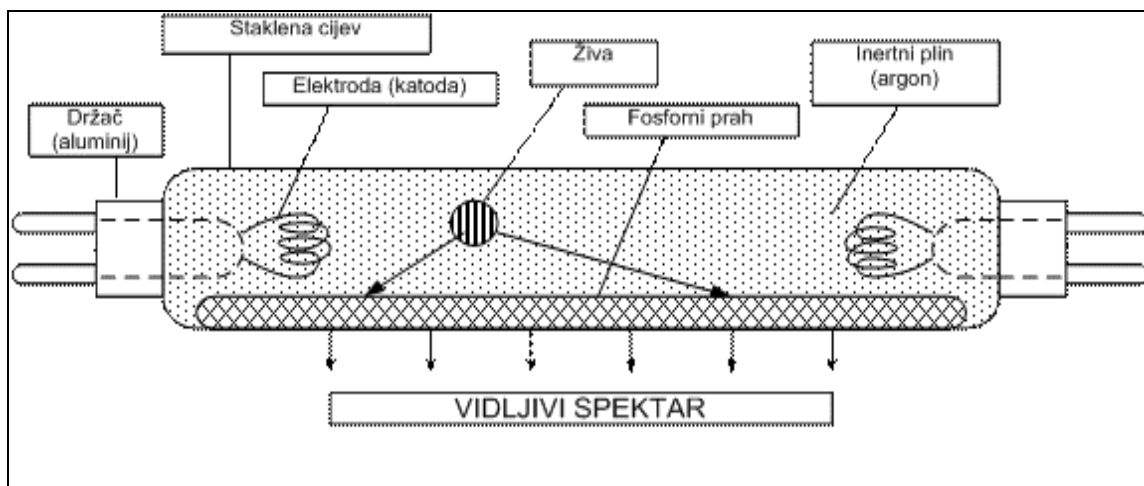
Zbrinjavanje otpada jedno je od ključnih ekoloških problema današnjice u svijetu, pa i u Republici Hrvatskoj. Eksponencijalni rast i prognoze nastajanja električnog i elektroničkog otpada (U daljnjem tekstu: EE otpad) nametnule su potrebu za njegovim učinkovitijim zbrinjavanjem s ciljem minimiziranja štetnog utjecaja na okoliš. Kolateralne štete prilikom zbrinjavanja EE otpada moguće su zbog opasnih komponenti koje sadrži, kao što su teški metali: živa, olovo, kadmij i dr., što povećava troškove recikliranja.

Veliki problem predstavlja zbrinjavanje rasvjetne opreme, posebice fluorescentnih svjetiljki. Zbog žive koju sadrže, fluorescentne svjetiljke se nakon korištenja klasificiraju kao opasan otpad, a kako bi se spriječilo onečišćenje okoliša, potrebno je emisije žive smanjiti na najmanju mjeru. Neadekvatno zbrinjavanje fluorescentnih svjetiljki predstavlja drugi po značaju izvor onečišćenja okoliša jer tijekom odlaganja dolazi do emisija živinih para u atmosferu te do emisija u podzemne vode i tlo. Osim što sadrže komponente štetne za okoliš i zdravlje ljudi, fluorescentne svjetiljke sadrže i korisne materijale koji se mogu upotrijebiti kao sekundarne sirovine. Stoga, neodgovorno odbacivanje takvog otpada ima dvostruku štetu, bacaju se potencijalne sirovine i onečišćuje se okoliš.

Sve veći pritisak javnosti glede zaštite okoliša utjecao je na povećanje troškova zbrinjavanja otpada potičući na taj način razvoj tehnologija recikliranja. Sveukupni troškovi recikliranja su porasli, dobit od plasiranja sekundarnih sirovina na tržište se smanjila, a cijena zbrinjavanja lomljenog stakla kao proizvoda dobivenog recikliranjem fluorescentnih svjetiljki je previsoka iz razloga što se klasificira kao opasan otpad. Također, velik broj komponenti, uključujući i one opasne otežava postupak recikliranja, pa je stoga potrebno neprestano razvijati učinkovitije tehnologije.

## 2. FLUORESCENTNE SVJETILJKE

Fluorescentne svjetiljke su svjetiljke koje proizvode svjetlo pretvorbom ultraviolettne energije iz niskotlačnog živinog luka u vidljivi spektar.<sup>[1]</sup> Na tržištu postoje različite vrste fluorescentnih svjetiljki, ali u osnovi su to sva rasvjetna tijela koja svoj princip rada baziraju na fluorescenciji te sadrže živine pare koje emitiraju UV svjetlost probuđenu električitetom.<sup>[2]</sup> Fluorescentna svjetiljka se sastoji od staklene cijevi zatvorene za atmosferu, aluminijskog držača i dvije elektrode (katode). Unutrašnjost staklene cijevi ispunjena je inertnim plinom, fosfornim prahom i malom količinom žive. Pri prolasku struje između dvije elektrode, koje su obično napravljene od wolframove žice, oslobađaju se elektroni koji pobuđuju atome u živinnoj pari. Fosforni prah koji se nalazi na unutarnjoj strani cijevi pretvara oslobođenu kratkovalnu ultraviolettne energiju u vidljivi spektar. Ovaj proces naziva se fotoluminiscencija, i kao energiju pobude koristi elektromagnetsko, odnosno UV zračenje.



Slika 1 Shematski prikaz fluorescentne svjetiljke

Fluokompaktne žarulje su zapravo savinute fluorescentne cijevi, čime se postižu manje ukupne dimenzije izvora svjetlosti, dok se zadržavaju sve karakteristike rada fluorescentnih cijevi. Kompaktne fluorescentne svjetiljke troše mnogo manje energije od klasičnih svjetiljki sa žarnom niti. Vijek trajanja fluorescentnih i fluokompaktnih žarulja je određen gubitkom emisijskog sloja na elektrodama (zbog toga dolazi do zatamnjenja rubova fluocijevi pri kraju životnog vijeka) do kojeg dolazi pri svakom paljenju, ali i normalnim pogonom.

## 2.1. Utjecaj na okoliš

Elementarna živa je srebrnastobijeli metal, jedini koji se pri sobnoj temperaturi nalazi u tekućem stanju. Živa se u fluorescentnoj svjetiljki nalazi vezana na fosfornom prahu i u obliku živinih para. Temeljem dosadašnjih istraživanja, može se reći da je živa koja se nalazi unutar fluorescentnih svjetiljki u najvećoj mjeri (97%) dvovalentna, adsorbirana na fosfornom prahu tj. luminoforu. Talište žive je  $-38,84^{\circ}\text{C}$ , a vrelište  $356,6^{\circ}\text{C}$ . Sadržaj žive unutar svjetiljke ovisi o vrsti svjetiljke (širini, dužini, obliku i namjeni), odnosno o proizvođaču, a iznosi 1-100 mg po svjetiljki.<sup>[2]</sup> Najraširenije svjetiljke starije proizvodnje sadrže do 50 mg, dok novije generacije sadrže 10-20 mg žive po svjetiljki.<sup>[3]</sup> Kompaktne fluorescentne lampe funkcioniraju na sličan način kao i fluorescentne svjetiljke, ali sadrže relativno manje žive, te maksimalno 1.5 g fosfora.<sup>[4]</sup>

Prije nego se opasan otpad koji sadrži živu odlaže na odlagališta potrebno je napraviti TCLP test (The toxicity characteristic leaching potential). To je test američke Agencije za zaštitu okoliša koji se koristi da bi se pojedine vrste otpada klasificirale kao opasne ili neopasne, te se u skladu s tim adekvatno odlažu i recikliraju. TCLP test mjeri potencijal žive koja bi se mogla ispustiti u podzemne vode sa odlagališta. Granična vrijednost za živu sadržanu u uzorku je 0,025 mg/L prema LDR (Land disposal restriction) standardima. Jedan od načina izbjegavanja TCLP testa je recikliranje svjetiljki.<sup>[5]</sup>

Kako bi se spriječilo i kontroliralo onečišćenje okoliša živom, potrebno je izvore emisija žive smanjiti na najmanju moguću mjeru.<sup>[6]</sup> Iako je fosilno gorivo najveći izvor onečišćenja okoliša živom, neadekvatno zbrinjavanje fluorescentnih svjetiljki predstavlja drugi po značaju izvor onečišćenja okoliša živom.<sup>[5]</sup> Pri nekontroliranom razbijanju fluorescentne svjetiljke, dio živinih para odlazi u atmosferu dok dio ostaje vezan na staklo i fosforni prah. Odlaganjem fluorescentnih svjetiljki zajedno sa komunalnim otpadom dolazi do emisija živinih para u atmosferu te do emisija u tlo i podzemne vode tijekom procjeđivanja padalina na otpad.<sup>[7]</sup>

## 2.2. Tehnologije recikliranja

Zbog opasnih komponenti koje sadrži, s naglaskom na živu, otpadne fluorescentne svjetiljke ne smiju se odlagati sa komunalnim otpadom, već ih je potrebno sakupljati odvojeno kako bi se mogle reciklirati. Dakle, namjena odvojenog sakupljanja je dvostruka, uklanjanje opasnog dijela te izdvajanje i recikliranje iskoristivog dijela.<sup>[8]</sup> Fluorescentne svjetiljke predstavljaju opasan otpad pa je stoga vrlo važno odložiti ih na za to predviđena mjesta poput sabirnih centara odakle se takav otpad transportira u reciklažna dvorišta na daljnju obradu. Pri procesu recikliranja odavaja se aluminijski koji se potom koristi kao sekundarna sirovina te lomljeno staklo koje se nakon uklanjanja fosforog praha koji sadrži živu, kategorizira kao neopasan ili inertan otpad. Uklonjeni luminofor kategorizira se kao opasan otpad te ga je osim odlaganja moguće reciklirati i ponovno koristiti kao sastavni materijal svjetiljki.<sup>[9]</sup> Prema literaturnim podacima postoje 3 načina uklanjanja žive u postupku recikliranja fluorescentnih svjetiljki:<sup>[5]</sup>

1. Mehaničko uklanjanje fosforog praha
2. Termička desorpcija
3. Mokri postupak pranja kiselinom

Recikliranjem fluorescentnih svjetiljki dobivaju se sljedeći produkti: luminofor, filteri onečišćeni živom, lomljeno staklo i aluminijske kapice. Sustav se provodi pri negativnom tlaku kako bi se smanjile emisije žive u atmosferu.<sup>[10]</sup> Fluorescentne svjetiljke se prvo mehanički obrađuju, tj. lome u jedinici za drobljenje. Tijekom drobljenja, vakuumski sustav smješten ispod drobilice sakuplja zrak i lomljeni materijal, sprječavajući emisiju žive kroz ulaznu cijev. Materijali nakon mehaničke obrade prolaze kroz separator gdje se odvajaju aluminijske kapice i lomljeno staklo od luminofora. Analizom postojeće literature, može se zaključiti da je mehaničko uklanjanje fosforog praha moguće u iznosu od 1-2% od ukupno reciklirane mase.<sup>[11]</sup> Jedna od opcija učinkovitog uklanjanja žive adsorbirane na lomljenom staklu je zagrijavanje fluorescentnih svjetiljki na temperaturama oko 100°C, čime je moguće postići vrijednosti koncentracije žive unutar graničnih te kategorizirati izlaznu frakciju lomljenog stakla kao neopasan otpad.<sup>[5]</sup>

Izdvojeni luminofor moguće je, nakon što filter napuni svoj kapacitet, odložiti na odlagalište opasnog otpada ili pak transportirati na daljnu obradu radi ponovne uporabe.<sup>[8]</sup> Elementarna živa u obliku pare se sakuplja u filteru sa aktivnim ugljenom te se potom šalje na pročišćavanje. Luminofor i filteri u kojima se nalazi elementarna živa se transportiraju kao opasan otpad u postrojenje za pročišćavanje žive, zbog materijalne uporabe elementarne žive i fosfornog praha. Oporavak se vrši zagrijavanjem iznad temperature vrelišta žive (375 °C) u trajanju od 4 do 20 h. Živine pare se kondenziraju i sakupljaju u posudi. Moguće je korištenje dodatnih tretmana, poput pranja nitratnom kiselinom kako bi se uklonile nečistoće prije ponovnog korištenja žive.<sup>[5]</sup> Pročišćeni luminofor moguće je ponovo iskoristiti kao sastavni dio rasvjetne opreme. Također je moguće ponovno korištenje žive pri proizvodnji fluorescentnih svjetiljki, kao i korištenje u drugim industrijskim procesima.<sup>[9]</sup>

Lomljeno staklo, ukoliko je karakterizirano kao neopasan ili inertan otpad, moguće je odložiti na odlagalište ili koristiti kao cestovni ili izolacijski materijal. Također ga je moguće potpunije pročistiti te ga ponovo koristiti u mješavini sa novim staklom pri proizvodnji fluorescentnih cijevi.<sup>[5]</sup>

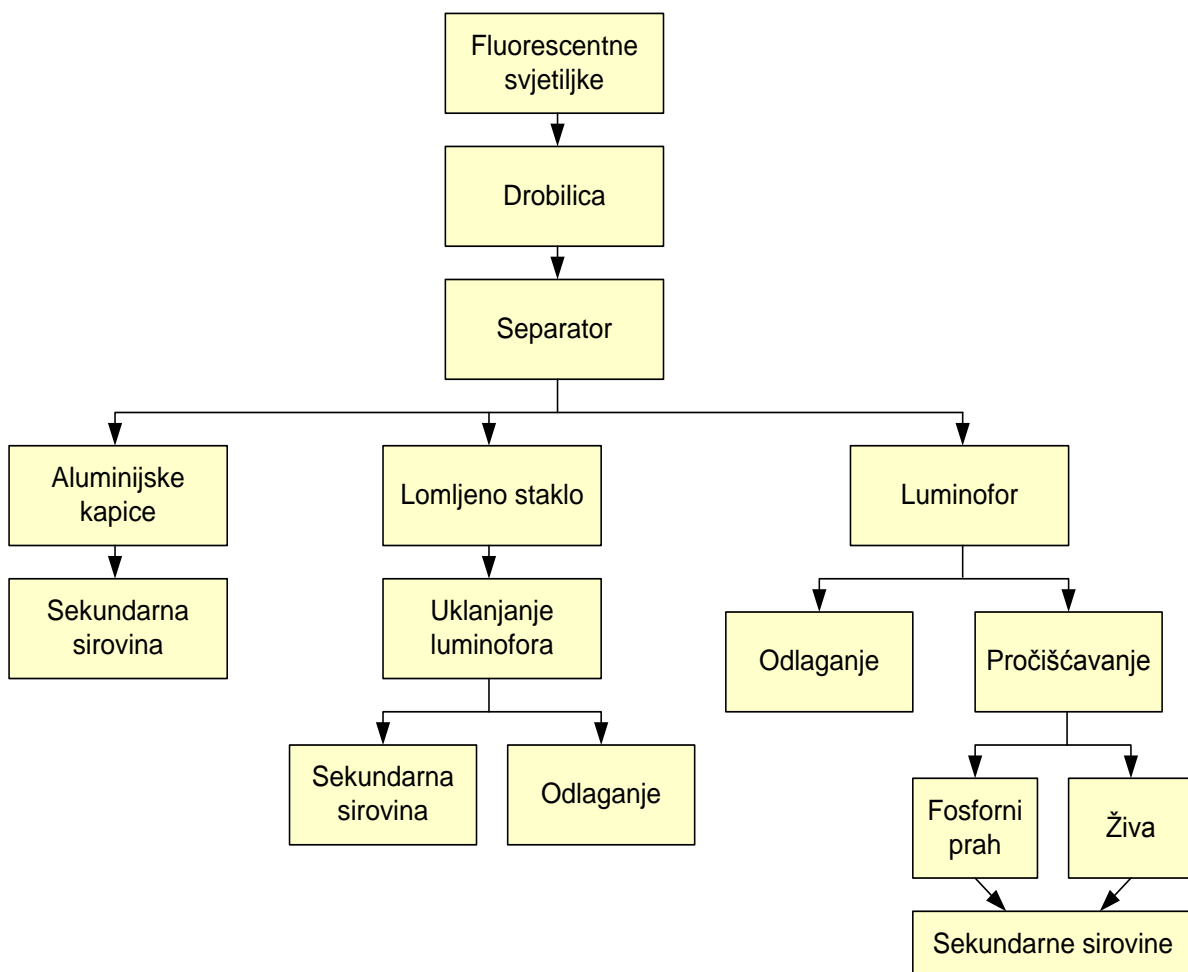
Prema dosadašnjim analizama, aluminijske kapice se kao sastavni dio fluorescentnih svjetiljki kategoriziraju se kao neopasan otpad, pa je stoga moguća njihova separacija već nakon mehaničke obrade. Kako predstavljaju korisnu sirovinu, uglavnom se prodaju proizvođačima aluminijske ploče, no također se mogu ponovno iskoristiti u proizvodnji fluorescentnih svjetiljki.<sup>[5]</sup>

Na svjetskom tržištu postoje uređaji koji imaju mogućnost izlazne frakcije lomljenog stakla fluorescentnih svjetiljki koje imaju karakter neopasnog ili inertnog otpada te je njihova cijena vrlo visoka. Kod većine takvih uređaja nije moguće kombinirano ubacivanje fluorescentnih svjetiljki i žarulja, već za svaku od njih postoji zaseban uređaj za recikliranje. Otpadne fluorescentne svjetiljke do oporabitelja se transportiraju smještene u bačvi, što rezultira razbijanjem određenog udjela svjetiljki prilikom transporta iz sabirnog centra. Spectra Media d.o.o. je izradila drobilice za mehaničku obradu fluorescentnih svjetiljki te podijelila po sabirnim centrima u svrhu lakšeg transporta do postrojenja za recikliranje.

Granične vrijednosti parametara eluata otpada koji sadrži živu za odlaganje na odlagališta inertnog otpada iznose 0,01 mg/kg s.t., za neopasnog 0,2 mg/kg s.t i za opasnog 2 mg/kg s.t. (Tablica 1) Prije samog odlaganja otpada na odlagališta, potrebno je odrediti sastav eluata. Osnovnom karakterizacijom otpada se utvrđuju karakteristike otpada na osnovi svih podataka koji su potrebni za njegovo konačno odlaganje na siguran način. [8]

Tablica 1. Granične vrijednosti žive u eluatu otpada za odlaganje na odlagališta inertnog, neopasnog i opasnog otpada [12]

Granična vrijednost parametra eluata (mg/kg ST); T/K=10 l/kg		
ODLAGALIŠTA INERTNOG OTPADA	ODLAGALIŠTA NEOPASNOG OTPADA	ODLAGALIŠTA OPASNOG OTPADA
0,01	0,2	2

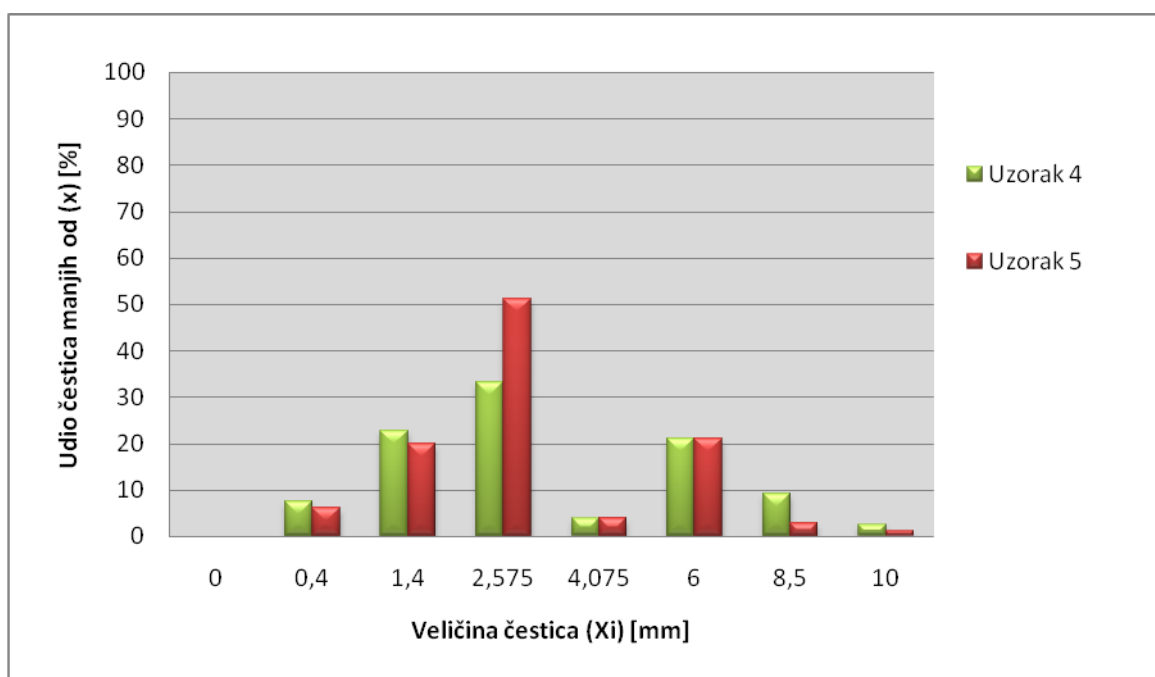


Slika 2. Shematski prikaz procesa recikliranja fluorescentnih svjetiljki

### 3. LABORATORIJSKO ISPITIVANJE UKLANJANJA ŽIVE

Za određivanje učinkovitosti procesa recikliranja korištene su fluorescentne svjetiljke i žarulje sakupljene na području Republike Hrvatske u 13 sabirnih centara. Laboratorijska ispitivanja provedena su na reprezentativnim uzorcima lomljenog stakla fluorescentnih cijevi (uzorak 1) i fluorescentnih žarulja (uzorak 2). Uzorkovanje je provedeno u postrojenju za recikliranje fluorescentnih svjetiljki, u vlasništvu tvrtke Spectra Media d.o.o, u kojem su svjetiljke mehanički obrađene.

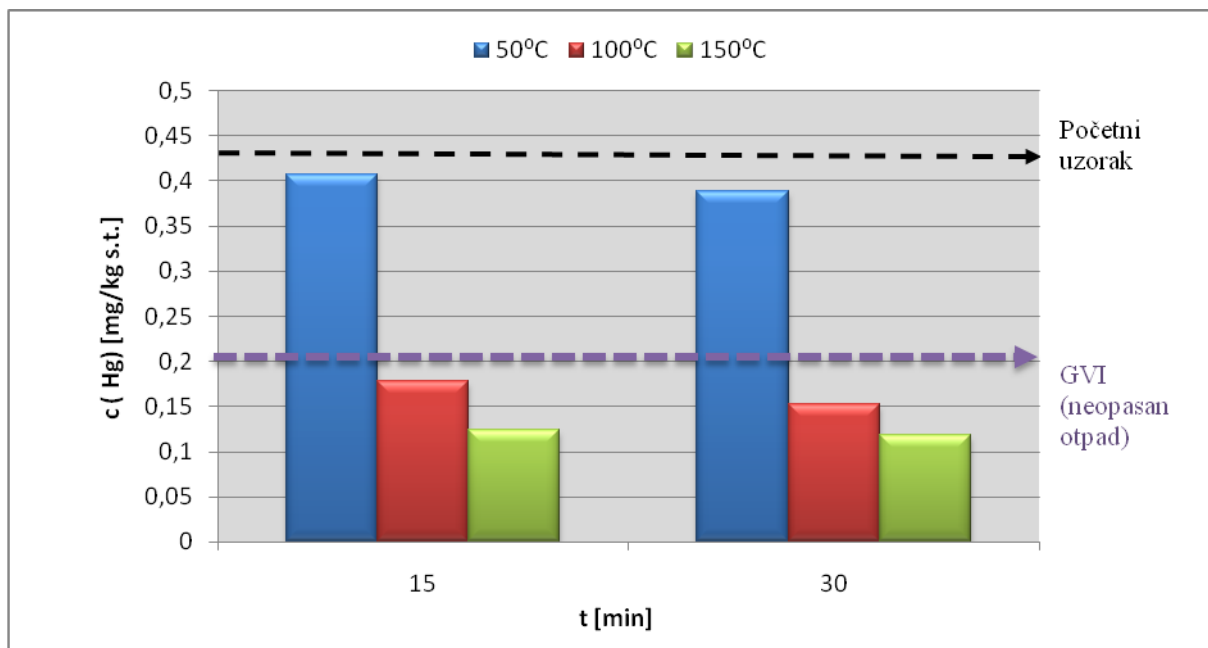
Udio čestica određene krupnoće u masi uzorka određivao se granulometrijskom analizom te rezultira granulometrijskom krivuljom koja služi za procjenu fizikalno-mehaničkih karakteristika uzoraka. Granulometrijski sastav se određivao sijanjem koje se vršilo preko serije sita.



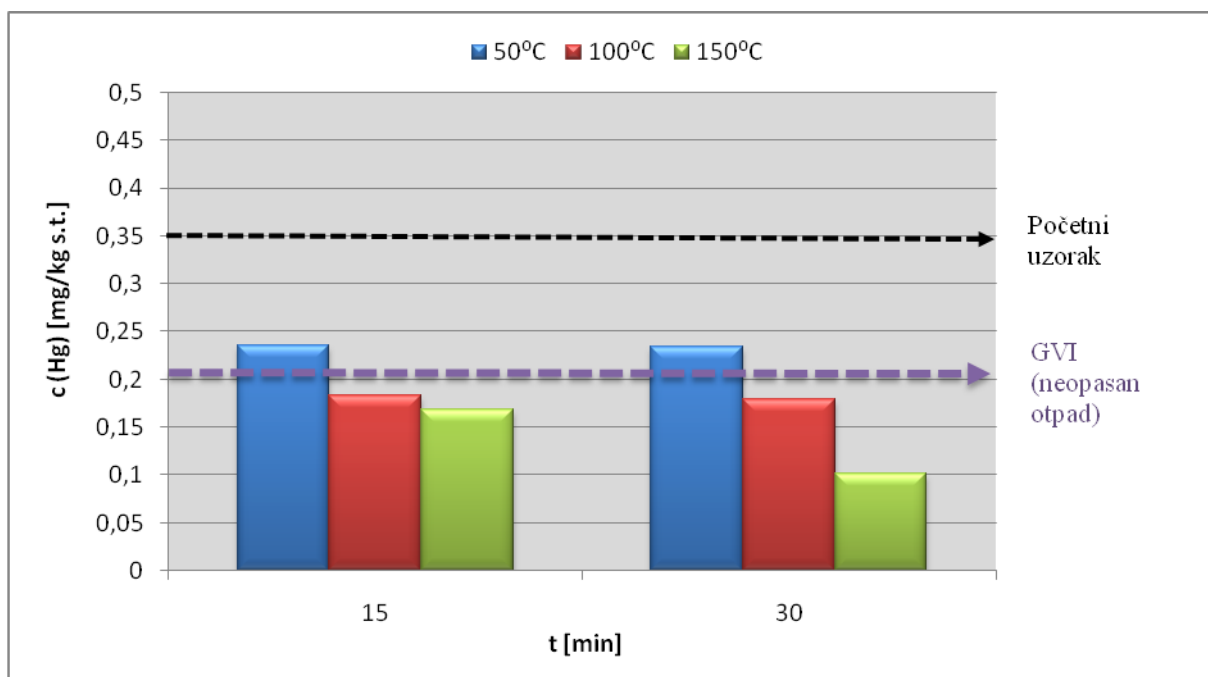
Slika 3 Grafički prikaz raspodjele čestica uzorka

Granulometrijskom analizom uzoraka 1 i 2 dobivena je krivulja raspodjele čestica koje imaju jednake fizičke karakteristike. Uvidom u sliku 3 vidljivo je da su uzorci 1 i 2 mješavine čestica od 0 do 10 mm. Uzorak 1 bilježi većinski udio čestica veličine 6 mm, dok oko 50% uzorka 2 čine čestice veličine 3mm. Analizom uzorka 1 zabilježen je značajan udio čestica od 10 mm u odnosu na uzorak 2.

Pri kontroliranim laboratorijskim uvjetima, ispitana je mogućnost uklanjanja žive zagrijavanjem lomljenog stakla fluorescentnih svjetiljki. Neposredno pred zagrijavanje, na analitičkoj vagi izvagalo se 90 grama ( $\pm 0,1$  g) uzorka. Nakon vaganja, uzorak lomljenog stakla prenosio se u bakrene posudice. U metalnu posudu većih dimenzija stavljen je pijesak zbog njegova svojstva dobrog provođenja topline. Pijesak se zagrijavao te nakon što se postigla željena temperatura, bakrena posudica sa uzorkom se uronila u pijesak. Za vrijeme provođenja ispitivanja, pomoću termometra se pratila temperatura pijeska i uzorka. Uzorak se zagrijavao na  $50^{\circ}\text{C}$ ,  $100^{\circ}\text{C}$  i  $150^{\circ}\text{C}$  u trajanju od 15 i 30 minuta, nakon čega se prenosio u staklene boce volumena 1 L sa čepom od inertnog materijala koje su potom čvrsto zatvorene. U bocu se dodalo 900 mL destilirane vode za potrebe izluživanja, odnosno leaching testa koji se koristi pri karakterizaciji otpadnog materijala. Na taj način postigao se omjer tekuće/kruto (T/K) od 10 L/kg ( $\pm 2\%$ ). Spomenuti uređaj za leching test izrađen je upravo za potrebe analize pri karakterizaciji lomljenog stakla dobivenog recikliranjem fluorescentnih svjetiljki. Nakon 24 sata ( $\pm 0,5$  h) miješanje je zaustavljeno te je uzorak ostavljen 15 minuta kako bi se istaložile suspendirane čestice. Eluat se filtrirao kroz membranski filter pomoću vakuum filtracije pri čemu se razlika tlaka ostvarila upotrebom pumpe. Dobiveni filtrat služio je za analizu koncentracija žive pomoću atomskog apsorpcijskog spektrometra.



Slika 4. Grafički prikaz ovisnosti koncentracije žive o temperaturi zagrijavanja za uzorak 1



Slika 5. Grafički prikaz ovisnosti koncentracije žive o temperaturi zagrijavanja za uzorak 2

Vrijednost koncentracije žive u eluatu početnog uzorka 2 iznosi 0,3449 mg/kg s.t., te je niža u odnosu na početnu koncentraciju žive u eluatu uzorka 1 od 0,4243 mg/kg s.t. Uz pretpostavku da će se poboljšati uklanjanje žive, te s ciljem dobivanja lomljenog stakla kategoriziranog kao neopasan otpad, uzorci 1 i 2 su zagrijavani pri kontroliranim laboratorijskim uvjetima. Pristupilo se provedbi istraživanja kojima je bio cilj utvrditi optimalnu temperaturu i vrijeme zagrijavanja. Pri ispitivanju učinkovitosti uklanjanja žive, zagrijavanje je bilo provedeno na 50°C, 100°C, 150°C, u trajanju od 15 i 30 min. Prema literaturnim podacima, zagrijavanjem lomljenog stakla na temperaturi od 100°C moguće je postići vrijednosti koncentracije žive unutar dozvoljene za odlaganje kao neopasnog otpada.<sup>[11]</sup>

Zagrijavanjem uzorka 1 na temperaturi od 50°C, koncentracije žive su još uvijek iznad graničnih vrijednosti. Povećanjem temperature na 100°C tijekom 15 minuta zagrijavanja, koncentracija žive je dosegla vrijednost od 0,1783 mg/kg s.t., koja se povećanjem temperature na 150°C nije značajno smanjila. Zagrijavanjem u trajanju od 30 minuta, koncentracija žive iznosi 0,1524 mg/kg s.t. pri 100°C nakon čega se također ne smanjuje značajno.

Zagrijavanjem uzorka 2 na temperaturi 50°C u trajanju od 15 minuta, dobiveni rezultati koncentracija žive su iznad graničnih. Zagrijavanjem u trajanju od 30 minuta dobivene su slične vrijednosti. Vrijednost koncentracije žive u eluatu uzorka 2 dobivena zagrijavanjem uzorka 3 na temperaturi od 100°C tijekom 15 minuta iznosi 0,1832 mg/kg s.t. ,dok zagrijavanjem u trajanju od 30 minuta, vrijednosti koncentracije žive od 0,1799 mg/kg s.t. Povećanjem temperature zagrijavanja, koncentracija žive se nije značajnije promijenila.

Najniže vrijednosti koncentracije žive postignute su zagrijavanjem pri 150°C u trajanju od 30 minuta, no ne razlikuju se značajnije od rezultata dobivenih zagrijavanjem pri istoj temperaturi u trajanju od 15 minuta. Iz dobivenih rezultata proizlazi činjenica da nema potrebe za povećanjem temperature iznad 100°C jer su oba uzorka pri temperaturi od 100°C postigla vrijednost koncentracije žive ispod granične vrijednosti od 0,2 mg/kg s.t.za neopasan otpad. Usporedbom grafičkih prikaza vidljivo da također nema značajnije razlike u koncentraciji žive pri zagrijavanju tijekom 15 i 30 minuta, stoga također nema potrebe za zagrijavanjem dužim od 15 minuta.

#### 4. ZALJUČAK

Zagrijavanjem materijala omogućeno je učinkovito uklanjanje žive te je moguće postići vrijednosti koje zadovoljavaju za odlaganje stakla na odlagalište neopasnog otpada. Zagrijavanjem materijala na 100°C u vremenskom periodu od 15 minuta postignuto je povećanje učinkovitosti uklanjanja žive od 44 %. Daljnim povećanjem temperature i vremena zagrijavanja učinkovitost uklanjanja žive je nešto veća, ali ne dovoljno da bi se otpadno staklo moglo klasificirati kao inertan otpad. Daljnjim razvijanjem tehnologija recikliranja fluorescentnih svjetiljki, s pretpostavkom da dobiveni eluat zadovoljava propisane parametre, moguće je korištenje stakla i aluminijske kao sekundarnih sirovina, čime se doprinosi uštedi prirodnih resursa i smanjenju negativnih učinaka na okoliš u odnosu na zbrinjavanje odlaganjem. Staklo klasificirano kao inertan otpad moguće je koristiti za izradu nasipa i posteljica u građevinarstvu u omjeru od 20% stakla i 80% zemljanog materijala. Aluminij se prodaje proizvođačima aluminijske kao sekundarna sirovina, dok se sakupljeni fosforni prah onečišćen živom zbrinjava kao opasan otpad.

## 5. LITERATURA

1. Fluorescent and other Mercury-Containing Lamps and the Environment, National Electrical Manufacturers Association (NEMA), 2005. ([www.elitelighting.com](http://www.elitelighting.com))
2. Suvremena energetska učinkovita javna rasvjeta, brošura Regionalne energetske agencije sjeverozapadne Hrvatske, ([www.regea.org](http://www.regea.org))
3. Raposo, C., Roeser, H.M., Contamination of the environment by the current disposal methods of mercury-containing lamps in the state of Minas Gerais, Brazil; Waste Management 21 (2001); 661-670
4. Chung, T.C. i sur., The fate and management of high mercury-containing lamps from high technology industry; Journal of Hazardous Materials 141 (2007); 784-792
5. Background Study on Increasing Recycling of End-of-life Mercury-containing Lamps from Residential and Commercial Sources in Canada, 2005. ([www.pollutionprobe.org/Reports](http://www.pollutionprobe.org/Reports))
6. Yang, J. i sur.; WEEE flow and mitigating measures in China; Waste Management 28 (2008); 1589-1597
7. Zbrinjavanje otpadnih električnih i elektroničkih uređaja i opreme, Brošura, Spectra-media d.o.o., Zagreb 2010. ([www.spectra-media.hr](http://www.spectra-media.hr))
8. Interstate Mercury Education and Reduction Clearinghouse, Fact Sheet; Mercury Use in Lighting, 2008. ([www.newmoa.org/prevention/mercury](http://www.newmoa.org/prevention/mercury))
9. Marquardt, R., Compact Fluorescent Lamp Recycling Project Phase I Draft Report, Background Research and Program Options, Portland, 2002. ([www.zerowaste.org](http://www.zerowaste.org))
10. Durao, W.A. i sur., Mercury reduction studies to facilitate the thermal decontamination of phosphor powder residues from spent fluorescent lamps; Waste Management 28 (2008); 2311-2319
11. Asari, M. i sur., Life-cycle flow of mercury and recycling scenario of fluorescent lamps in Japan; Science of The Total Environment 393 (2008); 1-10
12. Tanel, B. i sur., Comparative analysis of fluorescent lamp recycling and disposal options; Journal of Solid Waste Technology and Management 25 (1998); 82-88