

# UNAPREĐENJE DIZAJNA OPREME ZA RECIKLAZU ELEKTRONSKOG OTPADA

## DESIGN IMPROVEMENTS OF EQUIPMENT FOR ELECTRONIC WASTE RECYCLING<sup>\*)</sup>

dr Lozica Ivanović<sup>1)</sup>, dr Danica Josifović<sup>2)</sup>, mr Blaža Stojanović<sup>3)</sup>, Andreja Ilić<sup>4)</sup>

**Rezime:** U ovom radu predložena je metodologija poboljšanja dizajna procesne opreme za reciklažu elektronskog otpada. Dizajn opreme za reciklažu elektronskog otpada je u direktnoj vezi sa specifičnostima koje uslovljava tehnologija reciklaže ovog otpada. Zahtevi koji se postavljaju pri dizajnu opreme za recikliranje su raznorodni sa kompleksnim mehanizmima delovanja. Uslovi i način obavljanja reciklaže elektronskog otpada u ovom radu razmatrani su sa više aspekata u cilju formiranja relevantnog skupa faktora za ocenu dizajna procesne opreme. Koristeći ustanovljeni sistem vrednovanja ocenjen je dizajn najčešće korišćene procesne opreme za reciklažu elektronskog otpada u zemljama Evropske unije u korelaciji sa društvenim, ekonomskim, tehnološkim, ekološkim i zakonskim uslovima. U radu su prikazane mogućnosti modifikacija dizajna u cilju postizanja poboljšanja performansi opreme, unapređenja njene energetske efikasnosti, smanjenja ukupnog ekološkog odraza, kako njene proizvodnje, tako i korišćenja bez kompromisa u smislu ekonomske pristupačnosti, sigurnosti, pouzdanosti i održivosti rasta udela recikliranog elektronskog otpada koji propisuju Evropske norme vezane za ovu oblast.

**Ključne reči:** dizajn, elektronski otpad, reciklaža, procesna oprema

**Abstract:** In this paper methodology for design improvements of process equipment for electronic waste recycling is proposed. The design of the process equipment for recycling of the electronic waste is highly influenced by the specific conditions implicated by recycling technologies of this type of waste. The requirements that are put on design of recycling equipment are heterogeneous and with complex interactions. The conditions and technique of recycling are considered in this paper from large number of aspects in order to form the relevant factors for evaluation of design of the recycling equipment. By the means of the established evaluation criterions, the analysis of the design of the common used recycling equipment in Europe Union is done in correlation with society, economic, technology, ecology and legal conditions. The modifications of design are presented in the paper in order to improve the performances of the recycling equipment, improve the energy efficiency, reducing the resulting ecological impact without of the compromises in economic affordability, safety, reliability and maintain the increase of recycled electronic waste share, as it is prescribed in Euro Norms related to this area.

**Key words:** design, electronic waste, recycling, process equipment

### 1. UVOD

Savremeni razvoj društva direktno je vezan za primenu i razvoj novih, naprednih tehnologija što uslovljava porast proizvodnje i upotrebu različitih električnih uređaja i opreme. Elektronski otpad nastaje kada elektronski uređaji i oprema izgube svoju funkcionalnu vrednost. Električni i

elektronski otpad obuhvata otpadnu električnu i elektronsku opremu i uređaje, uključujući njihove sklopove i sastavne delove, koji se generiše u industriji, odnosno otpadne električne i elektronske uređaje i opremu koja se generiše u domaćinstvima ili u proizvodnim i uslužnim delatnostima kada je po vrsti i količini slična elektronskom otpadu iz domaćinstava. Sa stanovišta očuvanja životne

1) dr Lozica Ivanović, Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet inženjerskih nuka Kragujevac, mail:

[lozica@kg.ac.rs](mailto:lozica@kg.ac.rs)

2) dr Danica Josifović, Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet inženjerskih nuka Kragujevac, mail:

[danaj@kg.ac.rs](mailto:danaj@kg.ac.rs)

3) mr Blaža Stojanović, Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet inženjerskih nuka Kragujevac, mail:

[blaza@kg.ac.rs](mailto:blaza@kg.ac.rs)

4) Andreja Ilić, PhD student, Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet inženjerskih nuka Kragujevac, mail:

[gilic9@sbb.rs](mailto:gilic9@sbb.rs)

\*) Ovaj rad je nastao kao rezultat istraživanja na projektu TR-35033 koga finansira Ministarstvo prosvete i nauke Republike Srbije.

sredine i ekološkog odraza upravljanje elektronskim otpadom predstavlja jedan od najvećih problema u upravljanju otpadom.

## 2. KARAKTER ELEKTRONSKOG OTPADA

Elektronski i električni otpad ima karakter opasnog otpada i prema Zakonu o upravljanju otpadom (član 50.) ne može se mešati sa drugim vrstama otpada [1]. Karakter elektronskog i električnog otpada kao opasnog otpada uslovljava činjenica da on sadrži otrovne i kancerogene supstance [2, 3, 4 i 5] kao što su :

- Živa koja se nalazi u elektronskom otpadu (senzori, releji, termostati, mobilni uređaji, baterije, LCD ekrani i td.) predstavlja opasnost u smislu zagađenja vode. S obzirom da se živa vrlo lako taloži u živim organizmima putem lanaca ishrane, a najčešće korišćenjem rečne i morske ribe u ishrani predstavlja direktnu opasnost po zdravlje ljudi. Živa uzrokuje oštećenja raznih organa uključujući mozak i bubrege, kao i oštećenja i anomalije ljudskog fetusa. Procenjuje se da se 22% svetske potrošnje žive koristi u elektronskoj opremi koja završava kao elektronski otpad.

- Olovo koje se nalazi u elektronskom otpadu u monitorima i matičnim pločama uzrokuje oštećenje centralnog i perifernog nervnog sistema, kardio-vaskularnog sistema, bubrega i reproduktivnih organa.

- Fosfor koji se koristi kao premaz na CRT monitorima radi postizanja bolje rezolucije slike veoma je otrovan.

- Kadmijum se pri proizvodnji elektronske opreme koristi kao stabilizator plastike, sadrže ga neki tipovi elektronskih čipova što uslovljava njegovu prisutnost u elektronskom otpadu. Kadmijum se taloži u bubrezima i uzrokuje nepovratna oštećenja.

- Hrom se pri proizvodnji elektronske opreme koristi u zaštiti od korozije, kao ukras ili radi postizanja potrebne čvrstoće kućišta računarske opreme, što uslovljava njegovo prisustvo u elektronskom otpadu. Hrom se lako apsorbuje u ljudskom organizmu i može uzrokovati oštećenja DNK lanaca u ćelijama.

- Barijum se u elektronskom otpadu nalazi kao posledica njegovog korišćenja u CRT monitorima kao zaštite korisnika od zračenja, veoma je otrovan, uzrokuje slabljenje mišića, oštećenje srca, jetre i slezine.

- Berilijum se koristi u matičnim pločama jer je lak i tvrd metal, kancerogen je i uzrokuje nastanak kancera pluća.

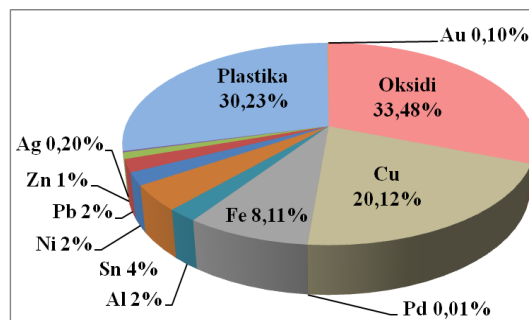
- U elektronskom otpadu je najčešće prisutna PVC plastika koja tokom sagorevanja

stvara velike količine CO<sub>2</sub> koji zagađuje atmosferu.

- Inhibitori gorenja na bazi broma koji se dodaju plastici za izradu kućišta radi sprečavanja zapaljivosti nalaze se u elektronskom otpadu i veoma su otrovni.

- Sadržaj tonera štampača u okviru elektronskog otpada je identifikovan kao kancerogen, naročito ako se unosi u organizam udisanjem njegovih isparenja, kada dolazi do iritacije disajnih puteva.

Složenost karakteristika, kao i brzina generisanja, uz neprestanu promenu karakteristika, strukture i samog hemijskog sastava predstavlja specifičnost elektronskog otpada u odnosu na druge vrste otpada. Takođe, ova vrsta otpada predstavlja značajan izvor sekundarnih sirovina. Prosečan hemijski sastav elektronskog otpada prikazan je na slici 1 [6]. Na osnovu podataka prikazanih na slici 1 zaključuje se da se recikliranjem elektronskog otpada ostvaruje racionalizacija korišćenja ograničenih prirodnih resursa pojedinih materijala i značajno štedi energija.



Slika 1. Hemijski sastav elektronskog otpada

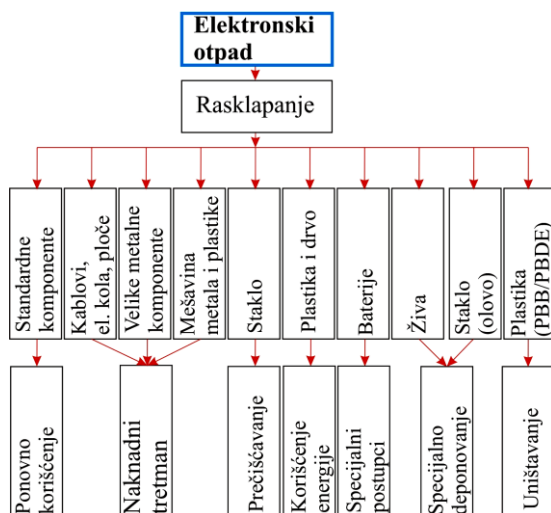
Brz razvoj, primena i smena tehnologija, relativno niski početni troškovi proizvodnje, planiranje trajanja eksploatacionog i životnog veka proizvoda u oblasti elektronske i električne industrije postavili su generisanje elektronskog otpada u fokus globalnih ekoloških razmatranja. U zemljama Evropske unije elektronski otpad čini 4% komunalnog otpada i predstavlja vrstu otpada sa najvećim trenutnim rastom udela u ukupnoj količini. Prema podacima Komisije za ekologiju Ujedinjenih nacija u Severnoj Americi se generiše 20 miliona tona elektronskog otpada, u Evropi i Aziji po oko 14 miliona tona, dok ostali kontinenti generišu po oko 5 miliona tona ove vrste otpada godišnje. Analize pokazuju da je u zemljama Evropske Unije udeo elektronskog otpada u ukupnoj količini komunalnog otpada početkom osamdesetih godina prošlog veka iznosio oko 2%, odnosno 4 miliona tona godišnje. Krajem devedesetih godina količina ove vrste otpada se povećala na 6 miliona tona godišnje odnosno na

udeo od 4% u ukupnoj količini otpada. Očekivani rast količine elektronskog otpada u Evropskoj Uniji je 5% godišnje, što znači da se predviđa da će količina ove vrste otpada do kraja ove dekade biti udvostručena [7, 8 i 9]. Prema istim autorima, stopa rasta količine elektronskog otpada trenutno je tri puta veća u odnosu na stopu rasta ukupne količine generisanog otpada.

Upravljanje elektronskim otpadom zasniva se na tzv. RRR principu koji obuhvata redukciju generisane količine, ponovnog korišćenja i recikliranja (*Reduce* – redukcija, *Reuse* - ponovo koristiti i *Recycle* – recikliranje). Reciklaža elektronskog otpada predstavlja jedino održivo, ekonomski opravdano i ekološki prihvatljivo rešenje prikazanih problema vezanih za generisanje i upravljanje elektronskim otpadom.

### 3. KARAKTERISTIKE RECIKLAŽE ELEKTRONSKOG OTPADA

Reciklaža elektronskog otpada predstavlja proces koji obuhvata skup postupaka kojima se ostvaruje ponovno korišćenje otpadnih materijala kao sirovine za proizvodnju novih proizvoda. Proces reciklaže elektronskog otpada je veoma složen, tehnološki zahtevan proces koji obuhvata više međusobno povezanih postupaka [6, 7, 8 i 10]. Generalno posmatrano, postupci koji se mogu identifikovati u uobičajenim postupcima reciklaže elektronskog otpada su sakupljanje, izdvajanje, rasklapanje, sortiranje, sama tehnološka prerada, a zatim korišćenje materijala i energije dobijenih tokom prethodnih postupaka u procesu reciklaže (sl.2).



Slika 2. Postupci tokom procesa reciklaže elektronskog otpada

Reciklažom elektronskog otpada ostvaruju se sledeći ciljevi:

- Značajna ušteda sirovinskih resursa.
- Poboljšanje energetske efikasnosti i ušteda energije kroz izbegavanje utroška energije tokom procesa primarne prerade sirovina, dok se deo energije dobija i tokom sagorevanja materijala koji nisu pogodni za reciklažu.
- Zaštita životne sredine i smanjenje ukupnog ekološkog odraza je mnogostruka i uslovljena je raznim faktorima počevši od sprečavanja degradacije životne sredine otpadnim materijalima do primene ekološki prihvatljivih postupaka tokom reciklaže.
- Ekonomski efekti reciklaže su značajni i vezani su za smanjenje troškova manipulacije otpadom, smanjenje troškova vezanih za utrošak energije, ostvarivanje dobiti nastale dobijanjem novih sirovina za proizvodnju iz recikliranog materijala.

Međutim, tokom tehnoloških postupaka reciklaže elektronskog otpada nastaju i hemijske materije koje su ekološki štetne i moraju se uništiti posebnim postupcima na bezbedan i ekološki prihvatljiv način jer ne postoji ili ekonomski nije opravdana mogućnost njihovog ponovnog korišćenja [5, 7 i 10]. Reciklaža elektronskog otpada u ekonomski razvijenim zemljama sveta je zastupljena u značajnijem stepenu i brže se razvija u odnosu na ekonomski manje razvijene zemlje. Takođe, tehnologija reciklaže elektronskog otpada u ovim zemljama je u poslednjih nekoliko godina značajno unapređena kao rezultat povećane zakonske, javne i ekonomske inicijative, a shodno rastu interesa proizvođača elektronske opreme i uređaja. Razvoj tehnologije i opreme za reciklažu elektronskog otpada uslovio je diferencijaciju posebnih tehnoloških postupaka koji se znatno razlikuju od energetski znatno zahtevnijih procesa reciklaže. Optimizacija tehnoloških procesa reciklaže zasnovana je na razvoju novih hemijskih i fizičkih postupaka. Modifikacije tehnoloških procesa reciklaže zahtevaju unapređenje dizajna opreme za reciklažu i njegovo prilagođavanje novim uslovima i potrebama.

### 4. DIZAJN OPREME ZA RECIKLAŽU ELEKTRONSKOG OTPADA

Dizajn opreme za reciklažu elektronskog otpada predstavlja specifičnu oblast inženjerskog dizajna. Pored uobičajenih zahteva i ograničenja koji postoje pri dizajnu opreme, dizajn opreme za reciklažu postavlja izuzetno značajne zahteve u pogledu sigurnosti i pouzdanosti, zaštite zdravlja rukovaoca i okoline uz istovremenu energetsku efikasnost i ekonomsku opravdanost samog tehnološkog procesa reciklaže elektronskog otpada. Analiza dizajna opreme za reciklažu

elektronskog otpada biće sprovedena na karakterističnoj tehnološkoj liniji koja, sa manjim modifikacijama u dizajnu, predstavlja okosnicu recikliranja elektronskog otpada u Republici Srbiji [11, 12, 13 i 14]. Stepenn reciklaže elektronskog otpada u Republici Srbiji je na skromnom nivou i daleko ispod nivoa koji se ostvaruje u zemljama Evropske Unije. Zakonska regulativa koja razmatra upravljanje i reciklažu elektronskog otpada u skladu je sa važećom Evropskom regulativom koja uređuje ovu oblast, ali je realno stanje u oblasti upravljanja i reciklaže elektronskog otpada značajno drugačije. Razvoj udela recikliranog elektronskog otpada kao i primena novih efikasnijih i ekološki znatno prihvatljivijih tehnoloških postupaka reciklaže u Republici Srbiji predstavlja neminovnost. Očekivani razvoj i rast u ovoj oblasti reciklaže daje poseban značaj dizajnu opreme za reciklažu.

Na slici 3 blok dijagramom je prikazan princip na kome se zasniva postupak reciklaže elektronskog otpada u Republici Srbiji [15].



**Slika 3. Princip reciklaže elektronskog otpada**

Ulazni materijal prikazanog postupka reciklaže predstavlja prikupljeni elektronski otpad. Kod analiziranog postupka reciklaže ne vrši se klasifikacija specifičnih vrsta elektronskog otpada već se istim postupkom reciklaže podvrgavaju razne vrste elektronskog otpada: računarski otpad i mali kućni aparati, ručni električni alat i otpad od elektronske, telefonske i druge opreme. Prva faza tehnološkog postupka je redukcija dimenzija elemenata materijala na veličinu koja omogućava da se većina fero-materijala razdvoji od frakcije koja sadrži i obojene metale, izolaciju i plastiku. Ovaj postupak redukcije dimenzija vrši se u drobilici tzv. šreder mašini. Izdvajanje fero-materijala iz glavnog toka materijala vrši se pomoću elektromagneta koji je postavljen iznad transportne trake za materijal. Na ovaj način glavni tok materijala predstavlja frakcija koja sadrži plastiku, obojene metale i izolacione materijale. Na slici 4 prikazan je izgled drobilice za redukciju veličine dimenzija elemenata materijala koji je u postupku reciklaže [15].



**Slika 4. Mašina Drobilica S1000**

Dizajn ove mašine, kao dela opreme za reciklažu elektronskog otpada pored uobičajenih zahteva karakterišu zahtevi vezani za sigurnost i pouzdanost. Unapređenje dizajna ove mašine kreće se u pravcu poboljšanja njene energetske efikasnosti putem modifikacija dizajna. Prvenstveno ovo se može postići tačnim određivanjem odnosa stepena redukcije dimenzija recikliranog elektronskog otpada i snage elektromagneta za izdvajanje fero-materijala.

U daljem toku reciklaže frakcija koja sadrži teški mešani materijal uvodi se u prvi vrtložni strujni separator gde se vrši odvajanje frakcije koja sadrži obojene metale (slika 5) [15]. Vrtložni strujni separator je sistem koji radi na principu vrtložnih struja i sastoji se od vibracionog dozatora kojim se materijal rastresa i ravnomerno raspoređuje preko površine dozatora. Materijal se dalje puni u separator za izdvajanje obojenih

metala. Pogon vibracionog dozatora ostvaren je sa dva elektromotora snage od po 0,8 kW.



*Slika 5. Vrtložni strujni separator*

Drugi deo vrtložnog strujnog separatora predstavlja sam separator u kome se vrši izdvajanje metalnih čestica iz frakcije mešavine metala. Glavne tehničke karakteristike vrtložnog strujnog separatora prikazane su u Tab. 1.

*Tabela 1. Tehničke karakteristike vrtložnog strujnog separatora*

|   |            |
|---|------------|
| <b>Pogon vibracionog dozatora</b>       | 2 x 0,8 kW |
| <b>Brzina punjenja</b>                  | ~ 0,3 m/s  |
| <b>Pogonski motor za rotor magneta</b>  | 4,0 kW     |
| <b>Pogonski motor transportne trake</b> | 1,5 kW     |

Naknadna redukcija veličine dimenzija elemenata materijala vrši se u višenamenskom rasperu, dok drugi vrtložni strujni separator izdvaja obojene metale iz lake frakcije metala. Višenamenski rasper je mašina srednje brzine sa duplim pogonom koja je specijalno dizajnirana za recikliranje elektronskog otpada (sl. 6) [15].



*Slika 6. Višenamenski rasper za reciklažu elektronskog otpada*

Pomoću ovog višenamenskog raspera ostvaruje se redukcija veličine dimenzija

pojedinačnih elemenata frakcije na oko 12 mm. Višenamenska funkcionalnost ovog raspera je ustanovljena njegovim dizajnom koji omogućava primenu u reciklaži više različitih tipova elektronskog otpada. Dalje, materijal u procesu reciklaže prolazi ispod drugog magneta koji je postavljen iznad transportne trake kojom se transportuje materijal čime se iz njega izdvaja čelik. Nakon toga materijal prolazi kroz drugi vrtložni strujni separator kojim se ostvaruje izdvajanje obojenih metala iz preostale frakcije koja pored ovog sadrži organske i elemente od žice. Osnovne tehničke karakteristike višenamenskog raspera prikazane su u Tab. 2.

*Tabela 2. Osnovne tehničke karakteristike višenamenskog raspera za reciklažu elektronskog otpada*

|  |                                    |
|--|------------------------------------|
| <b>Pogonski motor</b>                          | 1 x 132 kW / 750 min <sup>-1</sup> |
| <b>Nominalni napon</b>                         | 3 x 380 V - 50 Hz                  |
| <b>Rotor</b>                                   | 1200 mm / 144 min <sup>-1</sup>    |
| <b>Otvor na ulazu u komoru za usitnjavanje</b> | 600 x 1200 mm                      |
| <b>Noževi</b>                                  | 15 letećih / 16 statičnih          |
| <b>Kapacitet</b>                               | do 7000 kg / h                     |
| <b>Težina</b>                                  | 19 000 kg                          |
| <b>Dimenzije</b>                               | 2600x3000x4350 mm                  |

S obzirom da je višenamenski rasper mašina srednje brzine unapređenje dizajna ove mašine treba da se kreće u pravcu obezbeđivanja njene efikasnosti pri smanjenim brzinama čime bi se povećala njena energetska efikasnost, smanjila buka pri radu, redukovalo habanje pokretnih delova mašine, povećala sigurnost, pouzdanost i produžio eksploatacioni vek mašine.

Za završnu redukciju veličine elemenata materijala koristi se teški granulator (sl.7) [15].



*Slika 7. Teški granulator za reciklažu elektronskog otpada*

Pomoću teškog granulatora koji radi velikom brzinom i ima jedno vratilo redukuje se veličina dimenzija elemenata materijala na 6 do 10 mm zavisno od njegove vrste. Specifičnost dizajna ove mašine uslovljena je njenom funkcijom u procesu reciklaže. Smernice za unapređenje dizajna ove mašine su prvenstveno vezane za povećanje njene energetske efikasnosti jer je utrošak energije ove mašine najveći u odnosu na ostale prikazane u analiziranom procesu reciklaže elektronskog otpada. Finalna separacija se posle prerade u teškom granulatoru vrši na separatorskom stolu čiji je izgled prikazan na slici 8 [15].



**Slika 8. Separatorski sto C22**

Osnovne tehničke karakteristike separatorskog stola C22 prikazane su u tabeli 3.

**Tabela 3. Osnovne tehničke karakteristike separatorskog stola C22**

|                        |                     |
|------------------------|---------------------|
| <b>Radna površina</b>  | 1,44 m <sup>2</sup> |
| <b>Nominalni napon</b> | 3 x 380 V - 50 Hz   |
| <b>Visina ulaza</b>    | 1750 mm             |
| <b>Dimenzije</b>       | 2780x1590x2600 mm   |
| <b>Kapacitet</b>       | do 3000 kg / h      |

Na separatorskom stolu vrši se finalno razdvajanje mešane frakcije na organsku (plastika) frakciju i frakciju koja sadrži mešavinu metala. Frakcije koje se dobijaju nakon finalne separacije prikazane su u tabeli 4.

**Tabela 4. Finalne frakcije u reciklaži elektronskog otpada**

|                           |   |
|---------------------------|---|
| <b>Prašina</b>            | dobija se preko sistema za sakupljanje prašine                          |
| <b>Metalna frakcija</b>   | metalna frakcija se izdvaja sa vrha kosine separatorskog stola          |
| <b>Plastična frakcija</b> | plastična frakcija se izdvaja sa dna kosine separatorskog stola         |
| <b>Frakcija</b>           | frakcija sa sredine kosine separatorskog stola se vraća ponovo u proces |

Modifikacije dizajna opreme za recikliranje elektronskog otpada vrše se u cilju njenog poboljšanja i optimizacije, poboljšanja ekonomskih efekata reciklaže, kako kroz smanjenje cene tehnološkog postupka, tako i kroz smanjenje cene same opreme. Dalje, modifikacijama dizajna se ostvaruje dizajn opreme koji ima veću vrednost po ustanovljenim kriterijumima vezanim za konkretnu primenu. Kriterijumi vrednovanja dizajna opreme za reciklažu elektronskog otpada su tesno vezani za društveni, ekonomski, tehnološki, ekološki, pa i kulturni kontekst primene ove opreme. Međutim, za inženjerski dizajn od interesa su funkcionalne vrednosti na koje se fokusira metoda vrednosne analize. Osnov svih modifikacija dizajna stoji u unapređenju i optimizaciji samog tehnološkog postupka reciklaže [16, 17, 18 i 19].

## 5. ZAKLJUČAK

Životni vek elektronske opreme obuhvata period od ekstrakcije sirovina, preko njenog prevoza, dizajna i proizvodnje samog proizvoda, prodaje i distribucije, eksploatacije, eventualne ponovne upotrebe pa sve do postupaka upravljanja nakon kraja njegovog eksploatacionog veka kada postaje elektronski otpad. Svaku od ovih faza karakteriše uticaj na društvo i životnu sredinu. Upravljanje elektronskim otpadom odnosno faza u kojoj je elektronska oprema postala otpad ima najveći uticaj na životnu sredinu jer je tokom ove faze negativan ekološki odraz najopasniji. Iz ovog razloga posebnu pažnju treba posvetiti reciklaži elektronskog otpada. Dizajn opreme za reciklažu elektronskog otpada predstavlja utemeljenje opravdanosti ovog postupka. Specifična kompleksnost vrednovanja dizajna opreme za reciklažu i veliki broj raznorodnih aspekata posmatranja dodatno stvara probleme vezane za sprovođenje modifikacija ovog dizajna [18, 19 i 20]. Sa druge strane, zakonski okviri upravljanja i reciklaže elektronskog otpada su sve stroži. Direktiva o otpadnoj električnoj i elektronskoj opremi (*Waste Electrical and Electronic Equipment Directive - WEEE* Direktiva) je glavni evropski zakonski akt u vezi elektronskog otpada koja ima za cilj da spreči stvaranje otpada, da promoviše ponovnu upotrebu proizvoda, reciklažu i druge oblike povratka proizvoda da bi se smanjila količina elektronskog otpada [6]. Direktiva o Zabranu opasnih supstanci (*Restriction of Hazardous Substances Directive – RoHS*) stupila je na snagu 2006 [6]. Cilj ove direktive je da se zabrani upotreba određenih opasnih supstanci u proizvodnji električne i elektronske opreme. U prikazanim društvenim, ekonomskim i zakonskim okvirima treba posmatrati i modifikacije dizajna

opreme za reciklažu elektronskog otpada. Prvenstveno, modifikacijama dizajna opreme treba obezbediti održivost rasta reciklaže elektronskog otpada.

## LITERATURA

- [1] Republika Srbija, ZAKON O UPRAVLJANJU OTPADOM, Sl. glasnik RS, br. 36/2009 i 88/2010
- [2] EEB (European Environmental Bureau) (2009) Blueprint for European Sustainable Consumption and Production: Finding the path of transition to a sustainable society. Dostupno na: <http://bit.ly/gTOIWI>
- [3] EEA (European Environment Agency) (2009) Waste Without Borders in the EU. Dostupno na: <http://bit.ly/gk8MVv>
- [4] EEB (European Environmental Bureau) (2010) Designing greener electronic products: Building synergies between EU product policy instruments or simply passing the buck? Dostupno na: <http://bit.ly/fmwpk>
- [5] Electronic TakeBack Coalition (ETBC) (2010b) Facts and Figures of E- Waste and Recycling. Dostupno na: <http://bit.ly/gAEKIS>
- [6] European Commission (2011) Thematic Strategy on the Prevention and Recycling of Waste, Commission staff working document, Brussels
- [7] Williams, E. et al. (2008) Environmental, social and economic implications of global reuse and recycling of personal computers. Environ. Sci Technol 42: 6446-54
- [8] European Commission (2010). Critical raw materials for the EU. Dostupno na: <http://bit.ly/aXAc91>
- [9] Fredholm, S. (2008) Evaluating Electronic Waste Recycling Systems: The influence of physical architecture on system performance. Dostupno na: <http://bit.ly/c1yS0l>
- [10] UNEP (United Nations Environment Programme) (2005) Environment Alert Bulletin: E-waste, the hidden side of IT equipment's manufacturing and use. Dostupno na: <http://bit.ly/aEiWYY>
- [11] Intercord - reciklaža elektronskog otpada, Subotica, [www.intercord.net](http://www.intercord.net), pristupljeno 12. 04. 2012. godine
- [12] Eko metal - reciklaža elektronskog otpada, Vrdnik, [www.ekometal.com](http://www.ekometal.com), pristupljeno 17. 04. 2012. godine
- [13] Green dragon - reciklaža elektronskog otpada, Beograd, [www.greendragon.rs](http://www.greendragon.rs), pristupljeno 19. 04. 2012. godine
- [14] JUGO IMPEX E.E.R. - reciklaža elektronskog otpada, Niš, [www.ereciklaza.com](http://www.ereciklaza.com), pristupljeno 20. 04. 2012. godine
- [15] <http://www.arcon-environmental.co.rs>, pristupljeno 21. 04. 2012. godine
- [16] Eurostat (2010) Environmental Data Centre on Waste, Overall Waste Generation
- [17] Kejing Zhang (2011) Recycling of Electronic Waste II: Proceedings of the Second Symposium, John Wiley & Sons
- [18] Ronald E. Hester, Roy M. Harrison (2009) Electronic Waste Management, Royal Society of Chemistry
- [19] P. Gramatyka, R. Nowosielski, P. Sakiewicz (2007) Recycling of waste electrical and electronic equipment, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, Volume 20 Issues 1-2, strana 535-538
- [20] Ylä-Mella J, Pongrácz E & Keiski RL (2004) Recovery of Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) in Finland, Oulu University Press

\*) Research presented in this paper was supported by Ministry of Science and Technological Development of Republic of Serbia, Grant no. TR- 35033

\*) Deo rezultata prezentovanih u ovom radu ostvareno je u okviru projekta br. TR-35033 finansiranog od strane Ministarstva prosvete i nauke Republike Srbije.