

Smernice i tehnička rešenja za recikliranje električnog i elektronskog otpada u svrhu očuvanja životne sredine u Republici Srbiji

Guidelines and technical solutions for the recycling of electrical and electronic waste for the purpose of environmental preservation in the Republic of Serbia

Miloš Ilić^{1}, Nenad Gligorić², Vladimir Mikić³*

^{1,2,3}Alfa BK Univerzitet, Fakultet informacionih tehnologija, Beograd, Srbija /
Alfa BK University, Faculty of Information Technologies, Belgrade, Serbia

*Autor za prepisku / Corresponding author

Rad primljen / Received: 25.12.2021, Rad prihvaćen / Accepted: 21.02.2022.

Sažetak: Proizvodnja električnih i elektronskih uređaja raste svakog dana. Kada se ti uređaji pokvare ili budu odbačeni zbog zastarelosti oni postaju e-otpad. Danas se retko ko odlučuje za popravku uređaja i umesto toga oni se jednostavno zamene novim. Kako u svetu, tako i u Srbiji gomilanje ovog otpada predstavlja sve veći problem. E-otpad sadrži mnoge štetne materije koje mogu negativno uticati na životnu sredinu i zdravlje ljudi. Zato je veoma bitno pravilno rukovanje ovim otpadom i njegova reciklaža kako bi se na efikasan i društveno odgovoran način uklonio. U ovom radu, pored definisanja e-otpada, procesa reciklaže i isticanja njenih prednosti, prikazano je trenutno stanje upravljanja e-otpadom u Republici Srbiji. Takođe dat je i pregled najvažnijih firmi koje se bave reciklažom u ovoj zemlji, dok su na kraju rada iznete i određene preporuke i tehnička rešenja za poboljšanje upravljanja e-otpadom u Republici Srbiji.

Ključne reči: e-otpad, upravljanje e-otpadom, reciklaža, životna sredina, tehnička rešenja, prednosti, elektronski uređaji, Republika Srbija

Abstract: The production of electrical and electronic devices is increasing on a daily basis. When an electronic device breaks or is discarded due to obsolescence, it becomes e-waste. Nowadays, people rarely decide to repair devices, instead, they replace them with new ones. Both worldwide and in Serbia, the accumulation of this waste is an increasing problem. E-waste contains many harmful substances that can negatively affect the environment and human health. That is why it is very important to properly handle this waste and recycle it in order to remove it in an efficient and socially responsible way. In this paper, in addition to defining e-waste, the recycling process, and highlighting its benefits, the current state of e-waste management in the Republic of Serbia is presented. An overview of the most important recycling companies in this country is also given. The paper is concluded with recommendations and technical solutions for improving e-waste management in the Republic of Serbia.

Keywords: e-waste, e-waste management, recycling, environment, technical solutions, benefits, electronic devices, the Republic of Serbia.

¹orcid.org/0000-0003-1190-1181, e-mail: milos.ilic@alfa.edu.rs

²orcid.org/0000-0002-9054-2799, e-mail: nenad.gligoric@alfa.edu.rs

³orcid.org/0000-0003-3971-8725, e-mail: vladimir.mikic@alfa.edu.rs

UVOD / INTRODUCTION

Električni i elektronski otpad (e-otpada) predstavlja jednu od najbrže rastućih vrsta otpada, čemu doprinosi sve veća proizvodnja električnih i elektronskih uređaja. E-otpadom se smatraju električni i elektronski uređaji koji su obično pokvareni, kao i uređaji koji su još uvek u funkciji ali su zastareli i zbog toga odbačeni. E-otpad stvaraju domaćinstva, firme, institucije, ali i sami proizvođači e-opreme. U ove uređaje spadaju računari i prateća IT oprema, laptopovi, televizori, mobilni telefoni, zatim mali i veliki kućni aparati kao što su mikseri, tosteri, frižideri, zamrzivači, šporeti itd., potom igračke, razne vrste osvetljenja, medicinski uređaji, električni i elektronski alati i mnogi drugi. Naravno nisu samo neispravni uređaji ti koji se smatraju e-otpadom. Zbog brzog razvoja tehnologije česta je i zamena uređaja koji su još uvek u funkciji novijim modelima. Dužina životnog ciklusa za većinu proizvoda potrošačke industrije, usled ekspanzije novih tehnologija se iz godine u godinu smanjuje, što je delimično i rezultat aktivnosti kojima se pospešuje prodaja, čime uređaji zastarevaju samo nekoliko godina nakon kupovine. E-otpad može biti veoma opasan po okruženje zbog mogućeg ispuštanja toksičnih materija kao što su kadmijum, šestovalentni hrom, olovo, živa (Saphores i dr., 2012), zatim perfluorooktanoinska kiselina koja se nalazi u električnim i elektronskim komponentama i predstavlja opasnost zbog nemogućnosti razgradnje, kao i drugi materijali. Kako bi se izbeglo zagađenje životne sredine ovim uređajima se mora bezbedno rukovati i oni se moraju reciklirati u posebnim centrima specijalizovanim za ovu vrstu otpada. E-otpad predstavlja veliki problem, ali je takođe i dobra poslovna prilika s obzirom da se u njemu nalaze i vredni materijali koji se putem recikliranja mogu izvući i ponovo koristiti. Recikliranje nije jednostavan proces i zahteva velika ulaganja, ali može biti i isplativ, a što je najvažnije na ovaj način se obezbeđuje zdravije okruženje za ljude. Upravljanje e-otpadom predstavlja veliki izazov čak i za razvijene zemlje Evrope i sveta. Cilj recikliranja e-otpada je da se on u potpunosti ukloni iz prirode na siguran, efikasan i društveno odgovoran način.

Radovi na temu recikliranja e-otpada se često mogu naći u literaturi. Tanskanen u svom radu (Tanskanen, 2013) daje definiciju e-otpada i piše o njegovom sastavu, a potom se osvrće na politiku i zakonodavstvo o upravljanju i reciklaži. Terada u svom članku (Terada, 2011) piše o reciklaži elektronskog otpada u Nigeriji, takođe istražuje trgovinu e-otpadom u ovoj zemlji i govori o mogućim opasnostima po životnu sredinu i ljudska prava. Zhang i sar. su izradili studiju slučaja koja analizira ekološke, ekonomske i socijalne implikacije recikliranja e-

otpada u Kini (Zhang i dr., 2012). Vučković i sar. (2019) pišu o pravnim, tehničkim i političkim aspektima vezanim za recikliranje e-otpada u Republici Srbiji. Abdelbasir i sar. (2018) opisuju različite tehnike koje su uobičajene za reciklažu najvažnijih metala iz e-otpada. Cucchiella i sar. (2015) nam pružaju ekonomsku procenu sadašnjih i budućih tokova e-otpada. Awasthi i sar. u svom kritičkom pregledu se osvrću na zagađenje životne sredine u Indiji kao posledicu recikliranja e-otpada i predlažu neka moguća rešenja gde bi se kombinovanjem biljaka i mikroba mogla sanirati visoko kontaminirana mesta (Awasthi, Zeng, 2016). Kaya (2016) daje pregled postojećih i najsavremenijih znanja o reciklaži e-otpada i fokusira se na izvlačenje metala i nemetala iz e-otpada postupcima fizičke i hemijske reciklaže. Dias i sar. (2019) na primeru australijske šeme za recikliranje diskutuju o upravljanju e-otpadom i obezbeđivanju najboljih praksi recikliranja ovog otpada u razvijenim zemljama. Berežni i sar. su uradili komparaciju tehnološkog procesa reciklaže e-otpada na postrojenjima u Nišu i Veroni, i nakon toga daju preporuke kojima se može poboljšati upravljanje e-otpadom u Republici Srbiji (Berežni, Batinić, 2020). Hai i sar. (2017) pružaju detaljan pregled stanja reciklaže e-otpada u Vijetnamu. Yong i sar. (2019) su analizirali strategije upravljanja e-otpada u Maleziji i takođe identifikovali ključne socio-tehno-ekonomske izazove koji ometaju primenu ovih strategija. Narbón-Perpiñá i sar. (2019) su uradili komparaciju upravljanja e-otpadom u zemljama Evropske unije.

Ovaj rad ima za cilj da prikaže trenutno stanje upravljanja e-otpadom u Republici Srbiji, kao i da se iznese određene preporuke i prikaže tehnička rešenja za poboljšanje aktivnosti upravljanja e-otpadom na osnovu praksi iz okruženja kao i ostatka sveta.

1. RECIKLAŽA I PROCESIRANJE E-OTPADU / RECYCLING AND PROCESSING OF E-WASTE

Pod reciklažom se podrazumeva prerada otpada radi ponovne upotrebe materijala. E-otpad se smatra posebnim tokom otpada zbog opasnih supstanci koji se u njemu nalaze. Reciklaža ovog otpada je jedini siguran način da ove supstance ne završe u prirodi.

Tri glavna koraka u procesu reciklaže e-otpada su (Meskers i dr., 2009):

- Sakupljanje
- Predobrada
- Završna obrada.

Proces sakupljanja je početni korak. On podrazumeva prikupljanje e-otpada iz specijalizovanih reciklažnih kontejnera, otkup i preuzimanje uređaja

od građana i firmi itd. Sakupljanje i transport e-otpada do reciklažnih centara može biti veoma skup, zbog čega je optimizacija procesa sakupljanja od velike važnosti za proces reciklaže.

Predobrada obuhvata proces rasklapanja i sortiranja. Uređaji se prvo pregledaju, a zatim ručno rasklapaju na delove. Zatim se u procesu sortiranja razdvajaju materijali na one koji mogu da se recikliraju i one koji ne mogu. Reciklabilni materijal se dodatno razvrstava na svoje podvrste, zatim se usitnjava i sprema za poslednji korak, dok se nereciklabilni materijal odlaže na posebna mesta. Treba napomenuti da se u ovoj fazi reciklaže takođe garantuje i potpuno uništenje poverljivih podataka sa uređaja.

Završna obrada je finalni korak u procesu reciklaže u kojoj se prethodno razvrstani materijal pretvara u sekundarne sirovine. Zatim se te sirovine, u zavisnosti od vrste, dalje koriste za proizvodnju u čeličanicama, rafinerijama, topionicama itd.

Pet osnovnih tehnika za recikliranje e-otpada su: mehanička, hidrometalurška, biohidrometalurška, elektrometalurška i priometalurška obrada (Veit, 2015). Hadi i sar. opisuju tehnike koje se koriste za recikliranje metalnih i nemetalnih delova štampanih ploča (eng. Printed Circuit Boards - PCB) i dele ih na hemijske i fizičke, gde u hemijske spadaju vakuumska piroliza, centrifugalno razdvajanje i vakuumska piroliza, vakuumska piroliza i mehanička obrada, superkritična tečnost i procesi bioluženja, dok fizičkim pripadaju koronsko pražnjenje i elektrostatička sila, magnetno razdvajanje i gravitaciono odvajanje (Hadi i dr., 2015).

Kumar i sar. navode tri glavne prednosti/razloga za reciklažu e-otpada (Kumar i dr., 2017):

- Ekonomska korist
- Zaštita životne sredine
- Javno zdravlje i bezbednost.

Elektronski i električni uređaji sadrže do 60 različitih elemenata, među kojima se nalaze i neki plemeniti metali kao što su zlato, srebro i paladijum, a pored toga i drugi metali poput bakra, aluminijuma i čelika (Namias, 2013). Upravo u ovome leži veliki potencijal za ekonomsku dobit. Bacanjem uređaja velike količine plemenitih i drugih metala završavaju na deponijama. Izvlačenje ovih elemenata iz uređaja putem reciklaže može biti veoma isplativo, ali zahteva velika ulaganja u infrastrukturu.

Svakako mnogo važnije od ekonomske koristi je zaštita životne sredine, s obzirom da e-otpad sadrži mnoge opasne materije. Nepravilno odlaganje e-otpada dovodi do zagađenja okoline zbog oslobađanja ovih štetnih supstanci. Zanemarivanje ovog

problema jednog dana može dovesti do prirodne katastrofe.

Dobar deo e-otpada završi na deponijama. Jedan deo se spaljuje u posebnim spalionicama, međutim one su veliki izvor ugljen-dioksida i ovaj način uništavanja e-otpada može biti opcija samo za one delove koji se ne mogu reciklirati. Neadekvatno odlaganje e-otpada predstavlja rizik za javno zdravlje, pošto opasne materije mogu dovesti do različitih oboljenja kod ljudi.

Jedan dobar primer i skroman doprinos očuvanju životne sredine dali su organizatori Zimskih olimpijskih igara u Vankuveru 2010. godine, koji su se odlučili da medalje izrade od recikliranog e-otpada, s obzirom da elektronska i električna oprema sadrži delove koji su izređeni od zlata, srebra i bakra (Šiljak i dr., 2019).

2. RECIKLAŽA E-OTPADA U REPUBLICI SRBIJI / E-WASTE RECYCLING IN THE REPUBLIC OF SERBIA

Reciklaža e-otpada je na veoma niskom nivou u Srbiji u odnosu na zemlje Evropske unije. Nedovoljan broj firmi se bavi ovom delatnošću. Lider u ovoj oblasti je kompanija E-reciklaža koja pruža usluge sakupljanja, transporta, skladištenja i tretman e-otpada. Ova kompanija, koja na godišnjem nivou reciklira oko 15.000 tona svih kategorija električnog i elektronskog otpada, je do sada uspela da reciklira preko 100.000 tona ovog otpada čime je sprečena šteta koja je jednaka emisiji 1,5 milijardi kg CO₂ gasa u atmosferu.

SET Reciklaža predstavlja prvo preduzeće u Srbiji kome je Ministarstvo životne sredine izdalo dozvolu za recikliranje. Sav preuzeti otpad u potpunosti pretvaraju u sirovinu i alternativno gorivo po standardu ISO 14001. Deo su projekta "HydroWEEE" finansiranog od strane Evropske unije, sastavljenog od 9 partnera iz 4 države, koji se bavi izdvajanjem osnovnih i skupocenih metala iz električnih i elektronskih uređaja, među kojima su Bakar (Cu), Mangnan (Mn), Cink (Zn) itd.

BiS reciklažni centar, pored recikliranja e-otpada, predstavlja prvo i jedino preduzeće u Srbiji i regionu licencirano za reciklažu fluorescentnih lampi i sijalica. Deo su globalnog Microsoft Authorised Refurbisher programa, gde u saradnji sa raznim kompanijama doniraju još uvek ispravnu računarsku opremu ustanovama kojima je to potrebno. Ovime se produžava vek trajanja računara i smanjuje gomilanje tehnološkog otpada.

Metalekspres, REC-EE-O, Hostić Reciklaža d.o.o., Scan metals, Reciklaža Dakić i Klaster reciklaža jug su još samo neke od firmi koje se bave ovim poslom na teritoriji Republike Srbije. Sve ove

firme daju svoj veliki doprinos očuvanju životne sredine ove države.

Podaci o sakupljenom i ponovo iskorišćenom e-otpadu za period od 2011. do 2020. godine u Republici Srbiji, na osnovu izveštaja Agencije za zaštitu životne sredine, se mogu videti u Tabeli 1.

Tabela 1 - Upravljanje e-otpadom u Republici Srbiji u periodu 2011-2020 godine

Table 1 - E-waste management in the Republic of Serbia in the period 2011-2020

Godina	Odložen e-otpad (t)	Tretiran e-otpad (t)	Izvezen e-otpad (t)	Uvezen e-otpad (t)
2011	/	7084	793	/
2012	62	10601	1381	/
2013	/	18998	2799	/
2014	0,1	20972	240	/
2015	/	27351	2311	/
2016	56	37004	3293	/
2017	/	34210	2827	/
2018	11	32615	2408	/
2019	/	35559	17	/
2020	/	41716	5	/

Izvor / Source: (Đorđević i dr., 2021)

U Tabeli 1 prikazani su podaci za odložen, tretiran, izvezen i uvezen otpad za period od 2011 do 2020 godine. Na osnovu ovih podataka prvo što se može primetiti je da Srbija u ovom periodu nije uvozila e-otpad, što je svakako dobra vest. Procenat odloženog otpada je veoma mali, dok u godinama 2011, 2013, 2015, 2017, 2019 i 2020 nema podataka o odlaganju. Tretiran otpad je svakako u porastu i Srbija je veoma napredovala u ovom delu od 2011. godine. Otpad se takođe i izvozi, ali je daleko manji broj izvezenog otpada u odnosu na tretirani.

Bolji pregled stanja tretiranog e-otpada kroz godine se može videti na Grafikonu 1. Na osnovu ovog grafikona može se konstatovati rast tretiranog otpada od 2011. godine sa 7084 t, pa sve do 2016. godine sa 37004 t. Zatim se primećuje blagi pad u naredne dve godine sa 34210 t i 32615 t, dok se 2019. godine ponovo povećava tretiran otpad sa 35559 t, nakon čega je 2020. godine postignut rekord sa 41716 t. Najveći rast iz jedne godine u drugu zabeležen je sa 2015. na 2016. godinu kada se sa 27351 t povećalo na 37004 t, odnosno ukupno za 9653 t. Iako ohrabruje rast tretiranog otpada u prikazanom periodu, to nije ni približno dovoljno kako bi se zbrinuo sav e-otpad na teritoriji Republike Srbije.



Grafikon 1 - Tretiran otpad u Republici Srbiji u periodu 2011-2020 godine

Graph 1 - Treated waste in the Republic of Serbia in the period 2011-2020

Izvoz e-otpada je verovatno najlakše rešenje za njegovo zbrinjavanje i predstavlja nešto što razvijene zemlje često praktikuju. Bogate države uglavnom izvoze e-otpad u Azijske zemlje gde je radna snaga daleko jeftinija. Srbija izvozi samo onaj e-otpad za koji nema uslova za pravilno recikliranje. Na Grafikonu 2 je prikazan izvezeni e-otpad kroz godine u Srbiji. Posmatrajući ovaj grafikon može se uočiti rast izvoza od 2011. godine sa 793 t do 2013. sa 2799 t,

gde nakon toga 2014. godine sledi veliki pad na samo 240 t. Potom se sledeće dve godine povećava i dostiže rekord 2016. godine po količini izvezenog e-otpada sa 3293 t. Zatim sledi blagi pad u naredne dve godine, nakon čega sledi veliki pad, pa je tako 2019. godine bilo samo 17 t izvezenog otpada, a 2020. samo 5t, što predstavlja i minimalnu izvezenu količinu u periodu od 2011. do 2020. godine.



Grafikon 2 – Otpad izvezen iz Republike Srbije u periodu 2011-2020 godine
Graph 2 - Exported waste from the Republic of Serbia in the period 2011-2020

3. PREPORUKE I PREDLOŽENE AKTIVNOSTI / RECOMMENDATIONS AND PROPOSED ACTIVITIES

Kako bi se povećao stepen reciklaže u Republici Srbiji neophodno je preduzeti određene korake.

- *Motivisanje građanstva i inicijative*

Motivisanje građana da se u većem broju aktivno uključe u proces reciklaže je nešto od čega bi trebalo početi. Kako bi se ovo sprovedo u delo potrebno je podići svest građana o problemima koji nastaju zbog neadekvatnog odlaganja e-otpada, njegovog uticaja na životnu sredinu i zdravlje ljudi. U Srbiji nema dovoljno postavljenih specijalizovanih kontejnera i to je nešto što sigurno sprečava ljude da se priključe recikliranju, tako da je veoma važno povećati broj ovih kontejnera.

- *Motivisanje firmi i korporacija*

Takođe uključivanje proizvođača električnih i elektronskih proizvoda u proces reciklaže je veoma važno. Oni bi mogli kroz redovno organizovanje akcija da zamene stare uređaje za nove uz doplatu da znatno utiču na građane da na ovaj način daju svoj doprinos očuvanju životne sredine. Građani bi dobili sniženje pri kupovini novog uređaja, rešili bi se neželjenih uređaja koje bi proizvođači zatim reciklirali i na ovaj način svi bi bili na dobitku. Zatim, oslobađanje firmi koje primenjuju određene prakse za recikliranje otpada i zaštitu životne sredine od dela poreza.

- *Izmene zakona i povećanje ekološke takse*

Zakone koji se odnose na upravljanje e-otpadom treba uskladiti sa zakonima zemalja koje su lideru u ovoj oblasti. Pooštavanje zakona, kao i njihovo sprovođenje u potpunosti, treba da obezbede čistije i zdravije okruženje. Sledeća preporuka se odnosi na povećanje ekološke takse čime bi se povećao budžet za zaštitu životne sredine, a samim tim više sredstava bi se izdvajalo i za reciklažu.

- *Subvencije reciklažnim firmama*

Kako bi se povećao kapacitet za reciklažu e-otpada u Republici Srbiji potreban je veći podsticaj države za firme koje se bave ovom delatnošću, ali i potencijalnim firmama koje bi tek da započnu ovaj posao.

- *Izvoz otpada*

Jedna od preporuka je i veći izvoz ovog otpada, s obzirom da u Srbiji trenutno ne postoje dovoljni kapaciteti za zbrinjavanje istog.

- *Inovativni servisi i aplikacije*

Uvođenje inovativnih servisa i aplikacija je nešto što bi moglo da unapredi proces reciklaže. Tu se konkretno misli na ugradnju senzora za određivanje vrste otpada koja se ubacuje u kontejner, zatim senzori za prepoznavanje količine otpada itd.

- *Crowdsourcing inicijative*

Razne inicijative većeg broja ljudi koji bi udruženo na određen način putem informacionih tehnologija potpomogli problemu rešavanja e-otpada su dobar primer kako popularizacije, tako i borbe protiv ovog problema. Jedan od primera je razvoj različitih aplikacija i servisa, kako bi se putem Android i iOS aplikacija građanima na jednostavan način omogućilo da prijave svoje zastarele uređaje, koje bi zatim pokupile nadležne službe, ili servisi pomoću kojih bi mogao da se prijavi nelegalno odložen e-otpad širom Srbije.

4. TEHNIČKA REŠENJA ZA PRAĆENJE I RECIKLAŽU E-OTPADA / TECHNICAL SOLUTIONS FOR E-WASTE MONITORING AND RECYCLING

Tehnologija radio-frekvencijske identifikacije (RFID) je sistem koji korišćenjem elektromagnetnog polja omogućava bežičnu razmenu podataka između obeleženog predmeta i računarskih sistema.

RFID sistemi se sastoje od tri osnovna elementa (Rüdiger i dr., 2012):

- transpondera postavljenih na predmete (koji sadrže jedinstveni ID),
- infrastrukture za čitanje (antene i čitači),
- proširenih elemenata za tumačenje (RFID međuprogrami i softverske aplikacije).

S obzirom da RFID transponder nosi identifikator to omogućava praćenje jedinstvenog proizvoda od njegovog nastanka do trenutka kada postaje e-otpad.

Postoje dva tipa RFID oznaka (Weinstein, 2005):

- Aktivne, i
- Pasivne.

Ova podela je nastala na osnovu toga koji izvor napajanja koriste. Aktivne RFID oznake koriste ugrađene baterije, dok se pasivne RFID oznake napajaju energijom iz signala RFID čitača. Aktivne RFID oznake, upravo zbog svog načina napajanja, imaju mogućnost čitanja sa veće udaljenosti u odnosu na RFID pasivne oznake.

Postoji više mogućih koncepata za primenu RFID tehnologije na e-otpad (Daniel, 2007):

- Poboljšano praćenje,
- Poboljšano prikupljanje,
- Poboljšano sortiranje,
- Pametno rastavljanje i ponovna upotreba.

Kako bi se omogućilo praćenje e-otpada, potrebno je povezivanje ove tehnologije sa nekim uređajem, putem bežičnog prenosa podataka, prikupljeni podaci bi se potom skladištili, dok bi se analiza i filtriranje ovih podataka radila uz pomoć određenog softvera i na taj način bi se moglo izbeći nelegalno odlaganje, transportne prevare i nedoslednosti u faktorima emisije e-otpada iz industrijskih procesa proizvodnje električnih i elektronskih uređaja (de Araujo i dr., 2015). Autori u (Condemi i dr., 2019) identifikuju RFID oznake kao najbolji alat za pravilno upravljanje e-otpadom i predlažu nekoliko mogućnosti za proizvođače RFID uređaja kako bi se problem e-otpada ublažio u svim fazama hijerarhije e-otpada, odnosno ekološkog dizajna i prevencije, ponovne upotrebe, recikliranja i odlaganja. U (Ullah, Sarkar, 2018) se predlaže novi sistem koji koristi RFID tehnologiju za praćenje, prikupljanje i odvajanje mobilnih telefona od kućnog otpada, sve sa ciljem povraćanja stope povrata i reciklaže. Kahhat i dr. (2008) predstavljaju projekat e-tržište za vraćeni depozit, koji na početku podrazumeva plaćanje depozita pri kupovini odabranog uređaja, koje bi se potom registrovalo i pratilo putem RFID oznake postavljene na uređaj, sve do završetka njegovog životnog veka kada bi kupac dobio natrag svoj depozit kada firma preuzme uređaj.

RFID je efikasno, ali i prilično skupo rešenje, pa autori u (De, Gligorić, 2020) predlažu SmartTag koji takođe omogućava jedinstvenu identifikaciju proizvoda pomoću koga se, uz kombinaciju sa globalnim standardom specifikacija GS1 Digital Link, može pratiti svaki pojedinačni predmet od fabrike do reciklažnog pogona, a pored toga pruža i dodatne informacije o proizvodu kupcima koje su za njih bitne. SmartTag koristi QR kodove odštampane funkcionalnim mastilom i odštampane NFC oznake sa senzorskim mogućnostima. SmartTag je deo TagIt Smart projekta koji je pionir u upotrebi dinamičkih QR kodova koji se štampaju na robama široke potrošnje pomoću ekološki reaktivnih mastila koja menjaju izgled prema odabranim uslovima, kao što su temperatura, vlažnost, intenzitet svetlosti itd. Rastuća upotreba pametnih telefona opremljenih kamerama omogućava gotova rešenja za skeniranje podataka o dinamičkom QR kodu, kao i praćenje životnog ciklusa predmeta putem bešavnih merenja osmatranja generisanih podataka pametne oznake. SmartTags se pokreću servisnom platformom TagIt Smart. Ova platforma uključuje SmartTags (bilo QR-kodove sa funkcionalnim mastilom ili NFC oznake) koji uvećavaju proizvode ili fizičke entitete sa senzorskim mogućnostima i omogućavaju njihovu virtualizaciju kao virtualne celine za nadgledanje životnog ciklusa proizvoda. SmartTag su zbog svoje jednostavnosti i standardizovanog pristupa prihvatili mnogi u industriji.

Autori u (Berg, Wilts, 2019) predstavljaju ideju o digitalnim platformama kao tržištima za cirkularnu ekonomiju, koje zamišljaju kao mesto na kome bi se odbačeni uređaji i proizvodi, kao i razne reciklabilne komponente mogle razmeniti između kompanija. Ove digitalne platforme imaju za cilj da podstaknu i omoguće ponovnu upotrebu, preradu i reciklažu. Kompanije na različitim mestima u okviru cirkularne ekonomije bi koristile ove platforme kako bi mogle da međusobno komuniciraju i dogovore razmenu materijala. Takođe se diskutuje i o različitim oblicima platformi koje bi mogle biti usmerene na jednu oblast industrije ili da budu mešovite. U svakom slučaju ove platforme bi dovele do brojnih prednosti od kojih bi mnogi u kružnom lancu snabdevanja imali koristi, a takođe bi predstavljale i izvor vrednih i korisnih informacija za samo tržište cirkularne ekonomije.

ZAKLJUČAK / CONCLUSION

E-otpad se u Srbiji svakodnevno povećava i predstavlja sve veću opasnost za životnu sredinu. Problem leži u malom broju firmi koji su zaduženi za sakupljanje, transport, skladištenje i tretman ovog otpada, slaboj kontroli, kao i nedovoljno razvijenoj svesti kod građana o ovoj temi. Ministarstvo zaštite

životne sredine Republike Srbije bi trebalo da kroz veću saradnju sa gradovima i lokalnim samoupravama, proizvođačima e-opreme, firmama zaduženim za reciklažu i dr. zajedno rade na pronalaženju konačnog rešenja ovog problema. Trebalo bi da se pooštire zakoni koji regulišu upravljanje ovim, ali i drugim otpadom i da se pojačanom kontrolom osigura pravilno odlaganje e-otpada. Kroz dodatne subvencije za nove investitore koji bi ulagali u reciklažu, kao i za otvaranje novih pogona u firmama koje se već bave ovim poslom, povećala bi se količina recikliranog e-otpada. Ovime bi država imala i ekonomsku korist, kroz otvaranje novih radnih mesta, dalju proizvodnju korišćenjem recikliranog materijala itd. U svakom slučaju bez većeg broja preduzeća koja bi se bavila ovom delatnošću, problem e-otpada se ne može u potpunosti rešiti. Možda i najvažnija stvar je probuditi svest kod građana i dodatno ih informisati o važnosti recikliranja za očuvanje životne sredine. Kroz organizovanje konkretnih kampanja ovo bi se moglo izvesti. Takođe je neophodno postavljanje specijalizovanih reciklažnih kontejnera u većem broju širom Srbije. Na taj način bi se moglo uticati na to da se veliki broj uređaja, koji inače završi u ilegalnim tokovima, preusmeri na reciklažne pogone. Implementiranjem tehničkih rešenja, predstavljenih u ovom radu, značajno bi se poboljšalo upravljanje e-otpadom u Republici Srbiji. Kada bi svako od nas vodio računa i na adekvatan način odlagao svoje elektronske i električne uređaje kada se njihov životni vek završi, živeli bismo u zdravijoj sredini. Kako bi se zaštitila životna sredina neophodno je pravilno odlagati i reciklirati e-otpad. Jedino tako možemo da garantujemo čistu i nezagadenu sredinu, kako bi buduće generacije mogle da žive u zdravom okruženju.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] Abdelbasir, S. M., Hassan, S. S., Kamel, A. H., El-Nasr, R. S. (2018). Status of electronic waste recycling techniques: a review, *Environmental Science and Pollution Research*, 25 (17), 16533-16547.
- [2] Awasthi, A. K., Zeng, X., Li, J. (2016). Environmental pollution of electronic waste recycling in India: A critical review, *Environmental pollution*, 211, 259-270.
- [3] Berežni, I., Batinić, B. (2020). Komparacija tehnološkog procesa reciklaže elektronskog otpada – Studije slučaja postrojenja u Nišu i Veroni (Italija), *Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu*, 35 (2), 343-347.
- [4] Berg, H., Wilts, H. (2019). Digital platforms as market places for the circular economy – requirements and challenges. In: *Nachhaltigkeits Management Forum | Sustainability Management Forum*, Springer - Berlin - Heidelberg, 27 (1), 1-9.
- [5] Condemi, A., Cucchiella, F., Schettini, D. (2019). Circular Economy and E-Waste: An Opportunity from RFID TAGs. *Applied Sciences*, 9 (16), 1-19.
- [6] Cucchiella, F., D'Adamo, I., Koh, S. L., Rosa, P. (2015). Recycling of WEEEs: An economic assessment of present and future e-waste streams, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 263-272.
- [7] Daniel, S., Tadatomo, S. (2007). Perspectives for the Application of RFID on Electric and Electronic Waste. In: *Advances in Life Cycle Engineering for Sustainable Manufacturing Businesses*, Springer, London, 359-364.
- [8] De, S., Gligorić, N. (2020). SmartTags-enabled Fast-Moving Consumer Goods: Creation and Management. *IEEE IoT newsletter*. <https://iot.ieee.org/newsletter/november-2020>
- [9] De Araujo, M.V.F., de Oliveira, U.R., Marins, F.A.S., Muniz, Jr. J. (2015). Cost assessment and benefits of using RFID in reverse logistics of waste electrical & electronic equipment (WEEE). *Procedia Computer Science*, 55, 688-697.
- [10] Dias, P., Bernardes, A. M., Huda, N. (2019). Ensuring best E-waste recycling practices in developed countries: An Australian example, *Journal of Cleaner Production*, 209, 846-854.
- [11] Đorđević, L.J., Redžić, N., Radovanović, N., Jovanović G. (2021). Upravljanje otpadom u Republici Srbiji u periodu 2011-2020. godine, Ministarstvo zaštite životne sredine i Agencija za zaštitu životne sredine, http://www.sepa.gov.rs/download/UpravljanjeOtpadomRS_2011_2020.pdf
- [12] Hadi, P., Xu, M., Lin, C. S., Hui, C. W., McKay, G. (2015). Waste printed circuit board recycling techniques and product utilization, *Journal of hazardous materials*, 283, 234-243.
- [13] Hai, H. T., Hung, H. V., Quang, N. D. (2017). An overview of electronic waste recycling in Vietnam, *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 19 (1), 536-544.
- [14] Kahhat, R., Kim, J., Xu, M., Allenby, B., Williams, E., Zhang, P. (2008). Exploring e-waste management systems in the United States. *Resources, conservation and recycling*, 52 (7), 955-964.
- [15] Kaya, M. (2016). Recovery of metals and nonmetals from electronic waste by physical and chemical recycling processes, *Waste management*, 57, 64-90.
- [16] Kumar, A., Holuszko M., Espinosa D.C.R. (2017). E-waste: An overview on generation, collection, legislation and recycling practices, *Resources, Conservation and Recycling*, 122, 32-42.

- [17] Meskers, C. E. M., Hagelüken, C., Salhofer, S., Spitzbart, M. (2009). Impact of pre-processing routes on precious metal recovery from PCs, In: *Proceedings of EMC*, 2, 527-540.
- [18] Namias, J. (2013). *The Future of Electronic Waste Recycling in the United States: Obstacles and Domestic Solutions*. Columbia University, New York, United States.
- [19] Narbón-Perpiñá, I., Prior, D. (2020). Management of Waste Electrical and Electronic Equipment in European Union Countries: A Comparison, In: *E-waste Recycling and Management*, Springer, Cham, 127-141.
- [20] Rüdiger, D., Hohaus, C., Uriarte, A., Ibañez, N., Guarde, D., Marquinez, I., Manjon, D., Kovács, P. (2012). Towards efficient end-of-life processes of electrical and electronic waste with passive RF communication. In: *2012 Electronics Goes Green 2012+*, IEEE, 1-6.
- [21] Saphores, J. D. M., Ogunseitan, O. A., Shapiro, A. A. (2012). Willingness to engage in a pro-environmental behavior: An analysis of e-waste recycling based on a national survey of US households. *Resources, conservation and recycling*, 60, 49-63.
- [22] Šiljak, V., Stefanović, R., Popović, I. T., Mitić, D., Kocić, J., Savić, Z. (2019). Medalje od recikliranog e-otpada na olimpijskim igrama, *Ecologica*, 26 (93), 68-72.
- [23] Tanskanen, P. (2013). Management and recycling of electronic waste, *Acta materialia*, 61 (3), 1001-1011.
- [24] Terada, C. (2011). Recycling electronic wastes in Nigeria: Putting environmental and human rights at risk, *Northwestern journal of international human rights*, 10 (3), 154-172.
- [25] Ullah, M., Sarkar, B. (2018). Smart and sustainable supply chain management: A proposal to use rfid to improve electronic waste management. In: *Proceedings of the International Conference on Computers and Industrial Engineering*, Auckland, New Zealand, pp. 1-15.
- [26] Veit, H. M. (2015). *Processing Techniques. In Electronic Waste*, Springer, Cham, pp. 13-17.
- [27] Vučković, D., Spalević, Ž., Džamić, V. (2019). Recycling of electronic waste – Legal, technical and political aspects, *Ecologica*, 26 (93), 61-67.
- [28] Weinstein, R. (2005). RFID: a technical overview and its application to the enterprise. *IT professional*, 7 (3), 27-33.
- [29] Yong, Y.S., Lim, Y.A., Ilankoon, I.M.S.K. (2019). An analysis of electronic waste management strategies and recycling operations in Malaysia: challenges and future prospects, *Journal of Cleaner Production*, 224, 151-166.
- [30] Zhang, K., Schnoor, J. L., Zeng, E. Y. (2012). E-waste recycling: where does it go from here?, *Environmental Science & Technology*, 46 (20), 10861-10867.