

RECIKLIRANJE MATERIJALA I ELEKTROTEHNIČKIH PROIZVODA

RECYCLING OF MATERIALS AND ELECTRICAL PRODUCTS

Mr.sc. Antun Pintarić, Elektrotehnički fakultet Osijek, Istarska 3, 31000 OSIJEK

Ključne riječi: materijali, recikliranje, elektrotehnički proizvodi

SAŽETAK

Konstruktor može utjecati na prikladnost recikliranju ako unaprijed planira ponovnu uporabu i preradu dijelova i cijelog proizvoda. Članak opisuje neke probleme postojećeg recikliranja elektroproizvoda, te daje smjernice za konstruiranje prikladno recikliranju.

Key words: materials, recycling, electrical products

SUMMARY

The designer can improve the possibilities for recycling by planning for re-use and reprocessing of components and full products. The article describes some problems with current recycling of electrical goods and gives guidelines for recycling oriented design.

1. UVOD

Posljednja desetljeća ljudske povijesti obilježava eksponencijalni porast potrošnje materijalnih dobara što je posljedica naglog porasta broja ljudi, tehnološkog napretka, ali i rastrošne potrošnje s naglašenom borbom za profit. Izravna posljedica takvog pristupa je ubrzano trošenje neobnovljivih resursa (nafta, rude) i ozbiljno narušavanje ekosustava i opstojnosti čovjeka. Jedan od važnih uzroka je zabrinjavajuće onečišćenje okoliša proizvodnim i potrošačkim otpadom, kako količinom tako i vrstom (umjetno stvorene tvari od kojih su neke opasne, a većina se sporo razgrađuje u prirodnom ekosustavu). Izlaz se danas vidi u strategiji održivog razvoja.

Završetak ovog stoljeća obilježava burni razvoj elektrotehnike i elektronike*, koji umnogome mijenja život čovjeka. Izravna posljedica masovne primjene elektroproizvoda

* Zbog skraćenog pisanja u radu se koristi zajednički naziv "elektro"

je i sve veća količina otpada ove vrste. U Njemačkoj je količina elektrootpada za 1994. godinu procijenjena na 1,4 milijuna tona. Računa se da je odbačeno oko 4 milijuna televizora, 8,5 milijuna osobnih računala, 2,5 milijuna pisača, 19 milijuna džepnih računala itd./1/. Elektrootpad sačinjavaju dotrajali aparati i uređaji, samostalni ili kao dijelovi drugih proizvoda, koji za funkcioniranje koriste električnu energiju. Tu se ubrajaju dotrajali telefoni, satovi, žarulje, televizori, električne pećnice, perilice za posuđe i rublje, glačala, hladnjaci, usisavači, električni alati, grijalice, mikrovalne pećnice, radio aparati, Hi-Fi uređaji, videorekorderi, gramofoni, računala, tipkovnice, monitori, pisači, fotokopirni uređaji, zabavna elektronika i igračke, telefaks uređaji, te elektrosklopovi u vozilima, strojevima i građevinama.

Kao i kod ostalih proizvoda, tako se i kod elektroproizvoda tek u posljednje vrijeme počelo poklanjati pozornost preradivosti otpada. Stoga je zbrinjavanje elektrootpada povezano s nizom poteškoća. Pod pritiskom javnosti i zakona proizvođači i korisnici su primorani uvažavati i zahtjeve zaštite okoliša.

U pristupu danas prevladava cjelovito bilanciranje opterećenja okoliša, koje uvažava sve životne faze (Life-Cycle) proizvoda - od proizvodnje, preko uporabe do zbrinjavanja otpada.

Pozornost je u ovom radu stavljena na poteškoće i iskustva u recikliranju elektrootpada, poglavito stoga jer nedostaci u ovoj fazi povratno utječu na promjene u konstruiranju i tehnologiji izrade.

Pod pojmom recikliranje razumijevamo ponovnu uporabu iskorištenih, odnosno odbačenih materijala i proizvoda u istu ili različitu svrhu, s ili bez prethodne dorade. Može se reći da je to oponašanje kruženja tvari u prirodi.

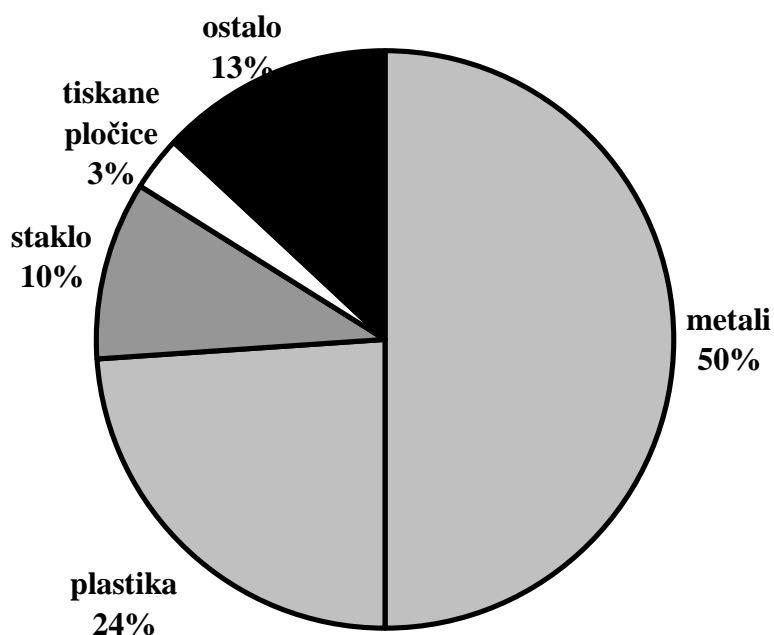
2. VRSTE MATERIJALA U ELEKTROPROIZVODIMA

Procjena je da se u elektrootpadu javlja oko 1000 različitih materijala /1/. U izradi elektroproizvoda se koriste metali i legure (željezo, bakar, aluminij i dr.), polimeri (poliester, poliamid, epoksid, polivinilklorid, ABS i dr.), anorganski materijali (staklo, keramika i dr.), zatim drvo, papir i karton, ali i vezani materijali (kompoziti, bimetali i dr.). Za neke funkcije se koriste po okoliš i čovjeka opasne tvari (azbest, teški metali, halogeni spojevi i dr.). Iako maseni udjeli materijala zavise o vrsti proizvoda (slika 1 i 2) prednjače metali i polimeri.

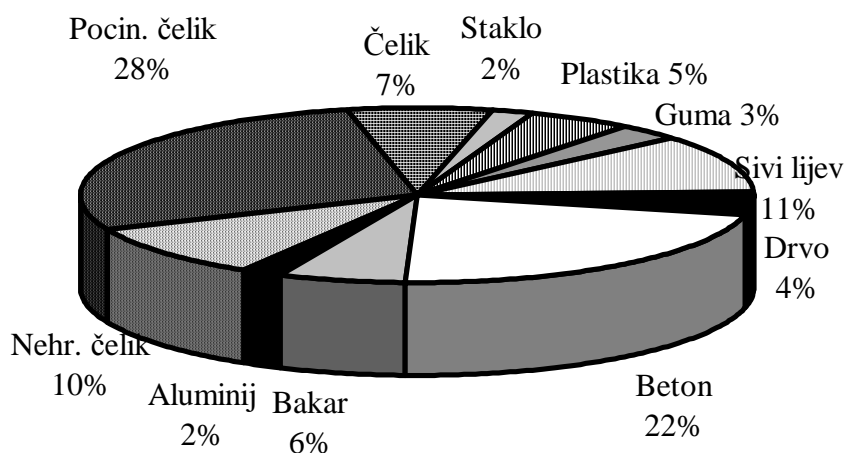
3. RECIKLIČNOST ELEKTROOTPADA

Na rješavanju problema recikliranja elektrootpada najdalje se odmaklo u Njemačkoj. Postupnim uvođenjem Propisa o zbrinjavanju elektrootpada, te koordiniranim aktivnostima proizvođača, trgovine i potrošača ustrojen je sustav prerade elektrootpada čiji je cilj smanjenje opterećenja okoliša u svim fazama životnog vijeka proizvoda.

Zadaća zbrinjavanja otpada je ponovna uporaba iskoristivog dijela otpada kao i izdvajanje opasnih tvari. Od opasnih tvari valja spomenuti poliklorirani bifenil (PCB) koji se koristi(o) npr. kao dielektrik u kondenzatorima, klorofluorouglikovodik (CFC) kao rashladno sredstvo, teške metale u baterijama (živa, kadmij, mangan, nikal, olovo i dr.),



SLIKA 1. Prosječni sastav materijala kod malih električnih kućnih aparata, radioaparata, televizora i kućnih elektroničkih aparata, prema /1/



SLIKA 2. Maseni udio materijala kod perilice rublja (Siemensov automatizirani stroj, Model 1979/80), prema /2/

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

Gruba je procjena da u elektrootpadu ima oko 10% funkcionalno ispravnih dijelova, 5% je moguće obnoviti i ponovno upotrijebiti, a ostalih 85% se mora rastaviti i razvrstati, te materijalno iskoristiti. Smatra se da nije opravdano daljnje korištenje ispravnih dijelova i sklopova odbačenih uređaja koji su stariji od tri godine /1/.

Problemi koji se javljaju u preradi elektrootpada proizlaze iz raspršenosti proizvoda na tržištu (otežano prikupljanje), raznovrsnosti tipova i proizvođača istovrsnih proizvoda, te neprikladnosti proizvoda za recikliranje.

Recikliranje velikih uređaja je olakšano zbog manje raznovrsnosti materijala i lakšeg izdvajanja (stupanj iskoristivosti je i do 85%). Kod malih aparata (televizori, radioaparati, Hi-Fi uređaji, video i sl.) preradu otežavaju velika raznovrsnost materijala, izvedbi i proizvođača.

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

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

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

U tablici 1 prikazane su pristojbe za preradu elektrootpada (rastavljanje, prerada, zbrinjavanje opasnih tvari) u Njemačkoj za pojedine grupe proizvoda.

TABLICA 1. Troškovi prerade elektrootpada prema grupama proizvoda /1/

GRUPA PROIZVODA	CIJENA, DEM
Ekranski uređaji, kom	25,00 - 60,00
Elektronička računala, kg	0,55 - 0,90
Zabavna elektronika, kg	0,60 - 2,50
Ostala informatička oprema, kg	0,80 - 1,80
Veliki kućanski aparati, kom	15,00 - 100,00

U Siemensovim pogonima, koji se bave rastavljanjem i recikliranjem, uređaji se ručno rasklapaju i razvrstavaju u osam skupina s 30 podskupina: metali, čisti plastomeri, mješana plastika, elektronski sitni otpad, kablovi, katodne cijevi, ambalaža, posebni otpad i dr. Daljnju preradu pojedinih grupa preuzimaju odgovarajući pogoni za recikliranje. Najveći udio u otpadu pripada metalima (40 do 70%). Kablovi i vodovi se, bez spaljivanja, razdvajaju na metal i plastiku. Elektronički sitni otpad, koji sudjeluje u ukupnoj masi uređaja od 15 do 30%, sadrži u prosjeku 30% metala i 70% plastike. Prerada ove vrste otpada obavlja se potpuno automatiziranim mehaničkim postupkom. Metalni granulat čistoće do 98% služi za ponovno dobijanje metala kemijskim postupkom /4/.

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

Učinkovitiji način recikliranja je ponovna uporaba djelomično dotrajalog proizvoda, s ili bez dorade (zavarivanje, navarivanje, mehanička obrada itd). Kako se pri tome uglavnom zadržava oblik proizvoda možemo govoriti o recikliranju proizvoda (nj. Werkstückrückgewinnung, e. Produktrecycling).

4. REKLIČNOST KAO ZAHTJEV PRI KONSTRUIRANJU

Sve do nedavno su pri projektiranju i konstruiranju proizvoda dominirali zahtjevi vezani za uporabu (eksploataбилnost) i izradu (tehnolođičnost) proizvoda. Pod pritiskom problema zbrinjavanja dotrajalih proizvoda proizvođači su primorani uvažavati i zahtjeve recikličnosti proizvoda.

Uporište koncepcije recikliranja proizvoda zasniva se na konstataciji da odbačeni proizvod nakon uporabe sadrži, osim vrijednosti materijala kao sekundarne sirovine, i zalihi prethodno stvorene vrijednosti (energija i rad uloženi u procesu izrade) koja je manje ili više umanjena tijekom eksploatacije. Obnavljanjem se nastoji očuvati ova zaliha vrijednosti.

Konstruktor bi trebao općenito uvažiti sve vrste i postupke recikliranja. Problem se javlja kod proizvoda dugog vijeka trajanja za koje treba pretpostaviti postupak recikliranja koje će nastupiti nakon deset ili dvadeset godina, dakako u uvjetima drugačije tehnologije. Budući da je u ovom slučaju prognoza nesigurna, treba postaviti generalna pravila za poboljšanje recikličnosti.

U izvedbi recikličnog proizvoda konstruktoru su od pomoći skup pravila i preporuka sadržanih u Smjernicama VDI 2243 /6/. Osnovna polazišta kod uvažavanja zahtjeva recikličnosti su:

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

2.7. tipizacija dijelova.

TABLICA 2. Smjernice za recikličnost pojedinih grupa elektroproizvoda

Vrsta proizvoda	Smjernice za recikličnost konstrukcije
Kabeli i vodovi	<ol style="list-style-type: none"> 1. izdvojivost materijala iz složenih elemenata (npr. željezo, aluminij, plastika) 2. recikličnost kabelaške plastike 3. recikličnost vezanih metala Al/Cu, Fe/Cu 4. recikličnost kabela nakon uporabe 5. recikličnost bubnjeva za namatanje kabela (višestruka uporaba i prerada)
Električni strojevi (rotacijski strojevi, transformatori, vozila na električni pogon)	<ol style="list-style-type: none"> 1. izdvojivost bakra i željeza iz motora 2. prikladnost industrijskoj preradi odbačenih elektromotora 3. prikladnost produženju vijeka uporabe primjenom obnavljanja i popravaka 4. izdvojivost djelomično dotrajalih elektro-motora iz odbačenih uređaja i strojeva
Električni kontakti, razdjelnici, sklop-nici, releji, vodljive ploče, računar-ska tehnika i sl.	<ol style="list-style-type: none"> 1. ponovno dobijanje plemenitih metala iz dijelova električnih kontakata (oznaka, postupak rastavljanja) 2. recikličnost dotrajalih vodljivih ploča 3. konstrukcija prikladna rastavljanju 4. sposobnost proširenju, rekonstrukciji i prilagodbi
Električni uređaji široke potrošnje (kućanski aparati, audio i video aparati itd.)	<ol style="list-style-type: none"> 1. konstrukcija prikladna rastavljanju, prikladnost izdvajanju sklopova 2. prikupljanje dotrajalih uređaja 3. recikličnost televizijskih ekrana i monitora 4. ponovna uporaba odbačenih dijelova (motora, standardiziranih dijelova, ispravnih sklopova)
Elektrodijelovi drugih strojeva i vozila, uključivo izvore struje	<ol style="list-style-type: none"> 1. prikupljanje dijelova u svrhu obnavljanja ili ponovnog korištenja materijala 2. razdvajanje i razvrstavanje elemenata i sklopova vozila 3. recikličnost akumulatora
Rasvjeta, foto i kino aparati	<ol style="list-style-type: none"> 1. recikličnost rasvjetnih tijela (ponovna uporaba materijala) 2. prikupljanje i organizirani prihvati odbačenih rasvjetnih tijela i dijelova 3. produljenje vijeka uporabe obnavljanjem 4. recikličnost stakla

Preporuke za povećanje prikladnosti recikliranja kod elektroproizvoda prikazani su u tablici 2 /7/. Ukratko se *recikličnost proizvoda* treba osigurati prikladnošću prikupljanja, rastavljanja, čišćenja, razvrstavanja i provjeravanja dijelova, a *recikličnost materijala* prikladnošću prikupljanja, usitnjavanja, razdvajanja i prerade (fizikalne, kemijske, toplinske). U oba je slučaja od važnosti ostvariti jednostavno rasklapanje proizvoda.

5. ZAKLJUČAK

Neminovnost zbrinjavanja dotrajalih dobara postala je dodatni trošak proizvođačima i korisnicima proizvoda. Kako ovi troškovi umnogome zavise o prikladnosti proizvoda recikliranju, to prisiljava proizvođače, odnosno konstruktore, da udovoljavaju i zahtjevu

recikličnosti proizvoda. Uvažavanje svih faza života proizvoda predstavlja novi inženjerski pristup nazvan "*Life-Cycle-Engineering*".

LITERATURA

- /1/ Koellner W., Fichtler W. Recycling von Elektro- und Elektronikschrott. Springer-Verlag, Berlin, 1996.
- /2/ Beitz W., Mayer H. Untersuchungen zur recyclingfreundlichen Gestaltung von Haushaltsgrossgeräten. Konstruktion 33(1981)8 305-315
- /3/ * * * Entsorgungs-Information. Vfw Vereinigung für Werkstoffrecycling GmbH, Köln
- /4/ Rogge H. Umweltschutz auf der ganzen Linie. Siemens Zeitschrift. 67, 1993, 5, 10-12
- /5/ Pintarić, A., Filetin T. Analiza recikličnosti proizvoda. Zbornik radova III simpozija Gospodarenje otpadom Zagreb 94, Zagreb, 1994. 59-68.
- /6/ Beitz W. Designing for ease of recycling. International conference on Engineering design - ICED, Dubrovnik, 1990, 1551-1559
- /7/ Garbe E., Salomon D. Recyclingerechtes Konstruieren - Erfordernis moderner Produktgestaltung. VDI-Z 131(1989)4. 79-83.