

PRISTUP IZBORU STRATEGIJE ZBRINJAVANJA DOTRAJALOG PROIZVODA

Antun Pintarić
Elektrotehnički fakultet Osijek
31 000 Osijek, Kneza Trpimira 2B

APPROACH FOR DETERMINING END-OF-LIFE STRATEGY

Antun Pintarić
Faculty of Electrical Engineering
HR-31000 Osijek, Kneza Trpimira 2B,

SAŽETAK

U radu su prikazane karakteristike proizvoda koje omogućavaju konstruktoru da odredi odgovarajuću strategiju zbrinjavanja dotrajalog proizvoda. Poznavanje strategije u ranoj fazi konstruiranja je neophodno za razvoj nove generacije ekološki pogodnih proizvoda. Na primjeru dviju karakteristike - vijeka dotrajavanja i tehnološkog ciklusa - pokazane su mogućnosti kategorizacije proizvoda s obzirom na zbrinjavanje. Razvijanjem metode i uključivanjem ostalih karakteristika, konstruktor će moći odrediti strategiju zbrinjavanja, kako bi ostvario za okoliš prihvatljivu konstrukciju i pospješio razvoj novih postupaka reciklaže.

Ključne riječi: dotrajali proizvod, reciklaža, konstruiranje

SUMMARY

This paper surveys product characteristics to guide designers to specify appropriate end-of-life strategies. Knowledge of end-of-life strategies early in product design is necessary to develop new products with the highest possible eco-efficiency. Two characteristics, wear-out life and technology cycle, serve to demonstrate a possible categorization of products' end-of-life path. By expanding the methodology to include all characteristics, designers will be able to specify end-of-life strategies, to seek environmentally friendly designs, and to develop new recycling technologies.

Keywords: end-of-life, recycling, design

1. UVOD

Pod snažnim pritiskom javnosti i legislative proizvođači sve odlučnije nastoje ublažiti utjecaj na okoliš putem smanjenja emisija, potrošnje energije i opasnih tvari. Dosadašnjim su djelovanjem bile obuhvaćene faze proizvodnje i uporabe proizvoda, dok je u novije vrijeme odgovornost proizvođača proširena i na prikladnost zbrinjavanja dotrajalog proizvoda. Europska je Unija donijela propise kojima je cilj prikupljanje i reciklaža potrošnih dobara, tj. uspostavljanje povratnih tokova materijala (e. *take-back*). Zadaća je proizvođača da svoje proizvode prilagodi tehnološki i ekonomski prihvatljivim postupcima zbrinjavanja nakon dotrajavanja. Kako bi se izbjegli povećani troškovi uklanjanja proizvoda, konstruktor se treba već u početnoj fazi konstruiranja prikloniti (ako ne odaberi) prihvatljivu strategiju zbrinjavanja dotrajalog proizvoda i prema njoj se ravnati u razradi konstrukcije. Ona bi predstavljala kombinaciju ponovne ili daljnje uporabe, obnavljanja, materijalnog recikliranja, spaljivanja i odlaganja na deponije.

U ovom su radu navedene moguće strategije zbrinjavanja dotrajalog proizvoda. Prikazan je pregled pokazatelja za koje se može pretpostaviti da su od važnosti pri odabiru strategije zbrinjavanja dotrajalog proizvoda. Navedeni su i neki od poznatijih alata koji se koriste pri izboru načina uklanjanja, te dobivena iskustva u tome. Naznačene su varijable proizvoda koje navode konstruktora na odabir prikladne strategije (kao npr. vijek uporabe, tehnološki vijek, složenost funkcije, broj materijala, broj dijelova i drugi). Njihovom analizom omogućava se konstruktoru da u ranoj fazi konstruiranja primjeni riješenja prihvatljiva za okoliš i potakne razvoj postupaka reciklaže.

2. KONSTRUIRANJE ZA OKOLIŠ

Opći okvir koji postavlja industrijska ekologija nameće recikličnost kao zahtjev već u fazi konstruiranja proizvoda (Design for Environmental, DfE) kako bi se ostvarilo što bolje iskorištenje resursa, odnosno smanjila količina otpada i potrošnja energije. U razvijenim se zemljama prerada dotrajalog proizvoda uvodi kao zakonska obveza s jasnim ciljem da se ograniči udio odlaganje ili spaljivanja proizvoda, a poveća udio recikliranja dotrajalih dobara. Istraživanja recikličnosti konstrukcija obuhvaćaju preporuke, smjernice i metode prerade dotrajalih proizvoda u fazama obnavljanja, recikliranja ili ponovne upotrebe. Tako su npr. poznate smjernice za obnovljivost dotrajalih proizvoda na nekim primjerima proizvoda (npr. automobilska vrata [1]). Nadalje, modularna izvedba proizvoda omogućava konstruktorima lagano odvajanje sklopova i dijelova koji olakšavaju obnavljanje, ponovnu upotrebu, materijalno recikliranje i odlaganje na deponije [2]. Istraživanja u Europi i Japan usredotočena su danas na rastavlјivost i tehnike razvrstavanja. Automatizirano rastavlјanje tipkovnice računala i drugih elektroničkih uređaja je pokazalo obećavajuće rezultate u tome pravcu [3]. Ručno rastavlјanje uz primjenu inventivnih alata pokazalo je značajne mogućnosti skraćenja vremena rastavlјanja i povećanje mogućnosti uporabe proizvoda. Metode odvajanja plastike i metala bili su predmet mnogih istraživanja. Odluke donešene u začetku razvoja proizvoda su od strateške važnosti.

U situaciji kada reciklaža dotrajalih dobara postaje neminovnost, težište ukupnog djelovanja se usmjerava na snižavanje troškova reciklaže. Uspostavlja se zajednički interes proizvođača da svoje proizvode prilagodi gospodarski prihvatljivim postupcima uklanjanja, ali i reciklatora da prerađuju takve proizvode. Postupak prerade dotrajalog proizvoda u najvećoj mjeri svojim odlukama određuje konstruktor. Poteškoće mu stvara nedostatak relevantnih podataka o utjecaju konstrukcijskih izvedbi na preradivost dotrajalog proizvoda. Istina, postoje brojni primjeri i smjernice koje pomažu konstruktoru, uglavnom kvalitativno.

Zanimljivo se istraživanje provodi na Stanford University gdje tim znanstvenika [4;5] iskušava računalom podržani alat koji bi trebao pomagati konstruktoru u ranoj fazi konstruiranja da odabere odgovarajuću strategiju zbrinjavanja dotrajalog proizvoda.

3. STRATEGIJE ZBRINJAVANJA DOTRAJALOG PROIZVODA

Dosadašnja istraživanja [6] upućuju na slijedeće strategije zbrinjavanja dotrajalog proizvoda:

1. Ponovna upotreba (e. *Reuse*) razumijeva prodaju rabljenog proizvoda (e. *second hand*) i njegovu daljnju upotrebu bez dorade
2. Održavanje (e. *Service*) je drugi način produljenja vijeka upotrebe proizvoda ili dijelova primjenom dorade, dogradnje ili zamjene dijelova na mjestu gdje se proizvod koristi.
3. Obnavljanje (e. *Remanufacture*) je postupak kojim se određeni broj istovrsnih proizvoda prikuplja u sabirnom mjestu i rastavlja. Rastavljeni se dijelovi razvrstavaju prema vrsti, čiste, ispituju, a prema potrebi dorađuju i ponovno koriste. Obnovljeni proizvod se dobije ponovnim sastavljanjem “osvježenih” dijelova, a prema potrebi i dodavanjem novih dijelova.
4. Reciklaža (s prethodnim razvrstavanjem). Reciklaža predstavlja usmjeravanje materijala na ponovnu upotrebu. Odvajanje materijala prema vrsti, uklanjanje nečistoća i opasnih tvari povećava vrijednost reciklata. Obično se komponente odvajaju ručnim rastavljanjem.
5. Reciklaža (s prethodnim usitnjavanjem). Svrha je mljevenja usitnjavanje dijelova za kasnije odvajanje. Usitnjeni se dijelovi odvajaju na osnovu gustoće, magnetičnosti ili drugog svojstva.
6. Odlaganje. (e. *Disposal*) Ovaj način zbrinjavanja se sastoji u odlaganju ili spaljivanju dotrajalog proizvoda, s ili bez energetskog iskorištenja.

U primjeni ovih strategija valja uočiti mogućnost sučeljavanja strategija. Naime, zavisno o odabranoj strategiji zbrinjavanja, konstrukcija proizvoda može istodobno onemogućiti (otežati) neku drugu strategiju. Npr. proizvod kojem je predodređena strategija “ponovna uporaba” može sadržavati dijelove od keramike ili kompozita kako bi mu se povećala trajnost, što ograničava djelotvornost reciklaže. Isto tako primjena metalnih vijaka za spajenje plastike umjesto uskočnika može olakšati održavanje, ali će usitnjavanje dotrajalih proizvoda stvoriti nepoželjnu mješavinu metala i plastike.

4. KARAKTERISTIKA PROIZVODA OD UTJECAJA NA IZBOR STRATEGIJE ZBRINJAVANJA PROIZVODA

Istraživanja [5] su pokazala da se na osnovu tehničkih karakteristika proizvoda može odrediti pogodna strategija zbrinjavanja proizvoda. Pri tome konstruktor i tehnolog imaju mogućnost utjecaja na karakteristike proizvoda. Računa se da postoje dvadesetčetiri relevantne karakteristike proizvoda. Neke od važnijih su navedene u nastavku, s kratkim opisom.

- *vijek dotrajavanja* - vremenski period od kupovine proizvoda do gubitka njegove prvobitne funkcije (npr. 10-15 godina za automobile)
- *konstrukcijski ciklus* - vremenski period između dvije generacija proizvoda ili trajnost konstrukcijskog rješenja, nakon kojega su izmjene na novom tipu tolike da je prethodna varijanta neupotrebljiva (npr. kod automobila je to 2-4 godine, a kod inkjet štampača jedna godina).
- *tehnološki ciklus* - vremenski period u kojem je došlo do značajnog tehnološkog napretka, tako da je prethodno rabljena tehnologija neprikladna ili manje poželjna (npr. za automobil to je 10–20 godina, a za računala oko jednu godinu)
- *vijek zamjene* - vrijeme koje protekne od kupovine do trenutka kada prosječni korisnik proizvodu zamjenom dijelova poveća funkcionalnost (npr. kod automobila je to oko 5 godina)
- *uzrok zastarjevanja* - razlog da proizvod više nije u mogućnosti da obavlja svoju ishodnu funkciju; proizvod je dotrajao neovisno o vrsti dotrajavanja (fizička istrošenost ili moralno zastarjevanje); proizvod je dotrajao kada otkáže jedan od dijelova koji su ključni za funkcioniranje proizvoda
- *složenost funkcije* - upućuje na povezanost između modula i funkcije koje obavljaju, funkcionalno složeni proizvodi (npr. kopirni aparati) imaju jako povezane module koji podržavaju različite funkcije, dok kod proizvoda jednostavne funkcije (npr. foto-aparat) moduli nezavisno funkcioniraju.
- *veličina* - približne dimenzine proizvoda (npr. “velik” za perilicu rublja, a “mali” za foto-aparat)

- *opasnost* - opasni ili nepoželjni materijali koji onečišćuju ostale dijelove, poteškoća je što takve dijelove treba ukloniti prije recikliranja proizvoda jer su opasni za čovjeka i okoliš (npr. baterije kod elektroničkih uređaja)
- *stupanj čistoće* - dok je proizvod u uporabi nakuplja prašinu i nečistoće koje je potrebno ukloniti prije ponovne upotrebe ili obnavljanja; neki su proizvodi povezani s prljavštinom tijekom uporabe (npr. perilica za rublje)
- *broj materijala* - broj različitih materijala
- *broj modula* - broj podsklopova koji su fizički odvojivi i funkcionalno povezani (npr. kod fotoaparata postoje tri modula, kod inkjet štampača pet)
- *broj dijelova* - približni broj dijelova proizvoda.

Pored navedenih, postoje i druge karakteristike (istina manje poznate) koje mogu utjecati na strategiju zbrinjavanja. To su npr.:

- ♦ *usmjerenost proizvođača na ekološke konstrukcije* – tj. koristi li proizvođač neki od standarda koji podržavaju konstruiranje ekoloških proizvoda (npr. ISO 14000).
- ♦ *poticanje recikliranja* - dijelovi i materijali s visokom dobom upućuju na recikliranje ili ponovnu uporabu.
- ♦ *poticanje rastavljanja* - cijena dijelova ili vrijednost recikliranog materijala ekonomski potiče rastavljanje; npr. automobilski dijelovi, zlato u elektroničkim sklopovima.
- ♦ *stupanj odgovornosti za troškove prikupljanja i prijevoza* – u kojoj je mjeri organizirana infrastruktura za prikupljanje i prijevoz dotrajalih proizvoda.
- ♦ *postojanje centra za rabljane uređaje* - mogućnost da korisnik vraća dotrajale dijelove.
- ♦ *mogućnost zamjene (staro za novo)* - postoje li poticajne mjere za povrat dotrajalih proizvoda.
- ♦ *poticajne mjere recikliranja* – da li su sudionici koji preuzimaju i recikliraju zamjenjene dijelove financijski stimulirani.

5. ODREĐIVANJE PRIKLADNE STRATEGIJE ZBRINJAVANJA

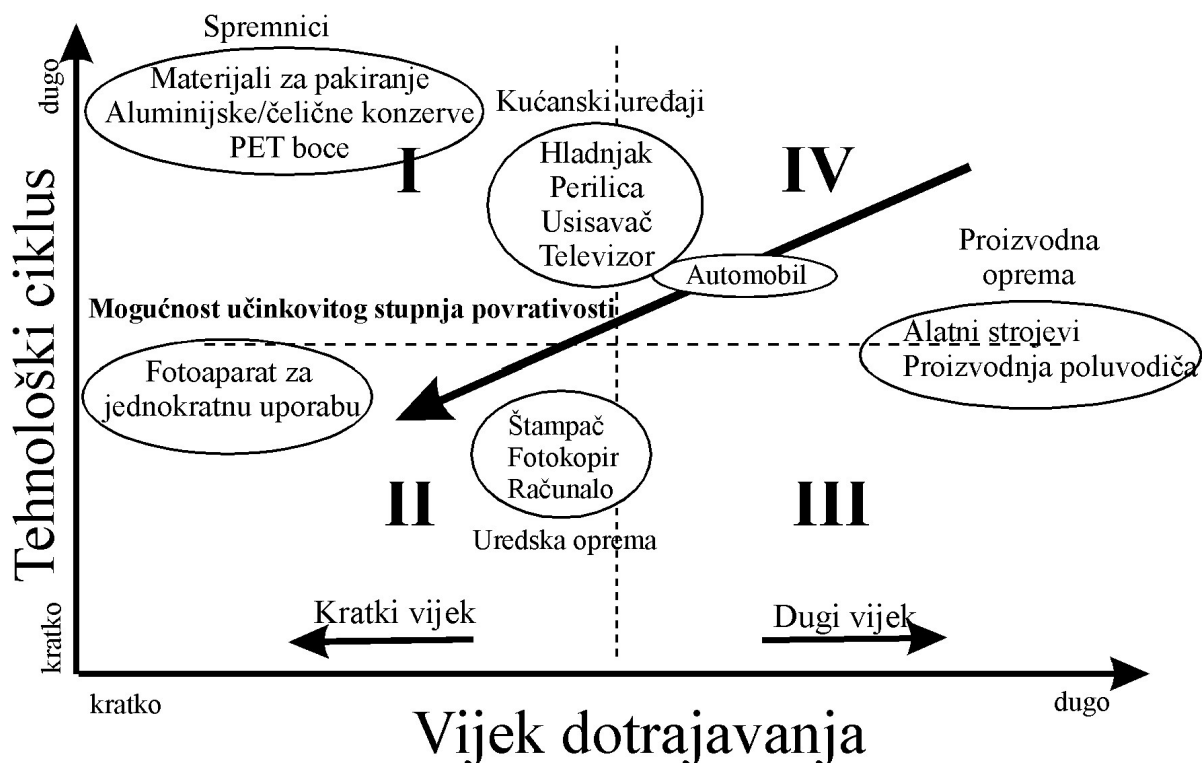
Primjenom prethodnih ključnih karakteristika proizvoda konstruktor može predvidjeti odgovarajuću strategiju zbrinjavanja. Veliki broj parametara koji se pri tome uzima u obradu zahtjeva podršku računala. Jedan od poznatijih alata koji je konstruktorima na raspolaganju je ELDA (End-of-Life Design Advisor) [6]. Razvijen je kako bi predvidio strategiju zbrinjavanja zasnovano na karakteristikama proizvoda. Preliminarno se na temelju ključnih karakteristika provede predizbor prikladne strategije zbrinjavanja. Potom se primjenjuju drugi alati (npr. dijagram recikličnosti, plan rastavljivosti) kako bi se u konstrukcijskoj razradi snizili troškovi zbrinjavanja, odnosno povećala prikladnost preradbi dotrajalog proizvoda.

Kao ilustracija pojednostavljenog razmatranja može poslužiti primjer [4] na bazi samo dvije karakteristike proizvoda – vijek dotrajavanja i tehnološki ciklus. Kao što se vidi u tablici 1 za one proizvode kojima je tehnološki ciklus dug, prednost se daje recikliranju materijala, bez obzira na vijek dotrajavanja. Ako je tehnološki ciklus kratak, strategija zbrinjavanja zavisi o vijeku dotrajavanja.

Tablica 1. Prikladna strategija zbrinjavanja zavisno o tehnološkom ciklusu i vijeku dotrajavanja

Vijek dotrajavanja	Tehnološki cikluse	Preporučena strategija zbrinjavanja
kratki	dug	reciklaža materijala
kratki	kratki	ponovna uporaba dijelova/sklopova
dug	kratki	obnavljanje dijelova/sklopova
dug	dug	reciklaža materijala

Ako poznatije skupine proizvoda pozicioniramo u dvodimenzionom dijagramu, gdje je ordinata “tehnološki ciklus”, a apcisa “vijek dotrajavanja” dobivamo zanimljivi prikaz njihove povezanosti. Strijelica u dijagramu pokazuje poželjni smjer djelovanja ka učinkovitoj povrativosti materijala.



Slika 1. Strategije zbrinjavanja dotrajalih proizvoda s gledišta tehnološkog ciklusa i vijeka dotrajavanja proizvoda [4]

Pozicioniranje proizvoda (Slika 1.) upućuje na osnovne smjernice recikliranja s gledišta razvoja tehnologije reciklaže i konstrukcije proizvoda, kao što prikazuje tablica 2. Skupinu A su proizvodi koje karakterizira dugi tehnološki ciklus i kratki vijek dotrajavanja. Skupina B su proizvodi kratkog vijeka dotrajavanja i tehnološkog ciklusa. Skupina C su proizvodi dugog vijeka dotrajavanja i kratkog tehnološkog ciklusa. Skupina D su proizvodi dugog tehnološkog ciklusa i vijeka dotrajavanja.

Tablica 2. Smjernice za konstrukciju proizvoda i razvoj tehnologija reciklaže [7]

Skupina proizvoda	Konstrukcijske smjernice	Smjernice razvoja tehnologije reciklaže
A	<ul style="list-style-type: none"> lako odvajanje dijelova u svrhu reciklaže materijala 	<ul style="list-style-type: none"> razvijati tehnike izdvajanja zasnovane na različitosti fizikalnih svojstva materijala koji se razdvajaju
B	<ul style="list-style-type: none"> povećati recikličnost primjenom tipiziranih dijelova i modularnih sklopova sličnih proizvoda pojednostaviti odvajanje upotrebljivih dijelova 	<ul style="list-style-type: none"> razvijati djelotvorne postupke čišćenja u svrhu smanjenja troškova obnavljanja
C	<ul style="list-style-type: none"> produžiti vijek proizvoda modularnom izvedbom vitalnih i najvrijednijih sklopova 	<ul style="list-style-type: none"> razvijati nerazorne tehnike odvajanja vitalnih sklopova i dijelova
D	<ul style="list-style-type: none"> produžiti vijek proizvoda pojednostavljenim održavanjem i mogućnošću dogradnje 	<ul style="list-style-type: none"> razvijati nerazorne postupke za održavanje i dogradnju

Alat ELDA je trenutno u fazi ispitivanja na različitim vrstama proizvoda, a njegova je primjena dostupna u web-aplikaciji na Internetu.

6. ZAKLJUČAK

Strategiju zbrinjavanja dotrajalog proizvoda potrebno je odabrati u početnoj fazi konstruiranja proizvoda, kako bi proces uklanjanja proizvoda bio gospodarski opravdan i ekološki prihvatljiv. U ovom su radu naznačene karakteristike proizvoda koje su od utjecaja na izbor načina uklanjanja proizvoda. S obzirom na veliki broj utjecajnih veličina i njihovo međudjelovanje (koje nije dovoljno istraženo) pojavili su se računalom podržani alati koji su u eksperimentalnoj fazi primjene.

7. LITERATURA

1. Amezquita, T., Hammond, R., and Bras, B., "Characterizing the Remanufacturability of Engineering Systems," 1995 ASME Advances in Design Automation Conference, DE-Vol. 82, Boston, MA, ASME, pp. 271-278
2. Sosale, S., Hashemian, M., and Gu, P., Product Modularization for Reuse and Recycling, ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Dallas, 1994., MED-Vol.5 Concurrent Product Design and Environmentally Conscious Manufacturing, pp. 195-213.
3. Langerak, E., To Shred or to Disassemble? Recycling of Plastics in Mass Consumer Goods," Proceedings, IEEE International Symposium on Electronics and the Environment Conference, San Francisco
4. Rose, C., Beiter, K. A., Ishii, K., Masui, K. Characterization of Product End-of-Life Strategies to Enhance Recyclability, 1998 ASME DETC Design for Manufacturing Symposium, Atlanta, Georgia, September 1998.
5. Rose, C., Masui K., Ishii K. How product characteristics determine end-of-life strategies, 1998 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment, IEEE Piscataway NJ USA 98CB36145, Oak Brook, IL, USA, pp. 322-327.
6. Rose C., Ishii, K. Product End-of-Life Strategy Categorization Design Tool," Journal of Electronics Manufacturing (Special Issue: Environmental, Recycling and End-of-Life in Electronics Industry), Vol. 9, No. 1, 1999, pp. 41-51.
7. Boks, C., Nilsson, J., Masui, K., Suzuki, C., Rose C., Lee, B. An International Comparison of Product End-of-Life Scenarios and Legislation for Consumer Electronics," Proc. IEEE International Symposium for Electronics and the Environment, Oak Brook, Illinois, 1998, pp. 19-24.