

Utjecaj tehnologije spajanja na recikličnost proizvoda

Severović, Antun

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:189796>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-29**

Repository / Repozitorij:

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

Stručni studij

**UTJECAJ TEHNOLOGIJE SPAJANJA NA
RECIKLIČNOST PROIZVODA**

Završni rad

Antun Severović

Osijek, 2019.

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**Obrazac Z1S: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za obranu završnog rada na preddiplomskom stručnom studiju**

Osijek, 23.09.2019.

Odboru za završne i diplomske ispite

Imenovanje Povjerenstva za obranu završnog rada na preddiplomskom stručnom studiju

Ime i prezime studenta:	Antun Severović
Studij, smjer:	Preddiplomski stručni studij Elektrotehnika, smjer Automatika
Mat. br. studenta, godina upisa:	A4299, 28.09.2018.
OIB studenta:	21030318093
Mentor:	Doc.dr.sc. Anita Katić
Sumentor:	Doc. dr. sc. Goran Rozing
Sumentor iz tvrtke:	
Predsjednik Povjerenstva:	Doc.dr.sc. Tomislav Rudec
Član Povjerenstva:	Dr.sc. Venco Ćorluka
Naslov završnog rada:	Utjecaj tehnologije spajanja na recikličnost proizvoda
Znanstvena grana rada:	Elektrostrojarstvo (zn. polje elektrotehnika)
Zadatak završnog rada	U radu je potrebno prikazati podjelu i karakteristike spojeva u tehničkim proizvodima te ih ocijeniti s gledišta prikladnosti recikliranju, odnosno rastavljivosti. Iz praktičnih primjera objasniti poteškoće i predložiti mjere poboljšanja. Sumentor: dr.sc. Goran Rozing
Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (završnog rada):	Dobar (3)
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 2 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 2 bod/boda Razina samostalnosti: 1 razina
Datum prijedloga ocjene mentora:	23.09.2019.
Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:	Potpis:
	Datum:



FERIT

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA

Osijek, 09.10.2019.

Ime i prezime studenta:

Antun Severović

Studij:

Preddiplomski stručni studij Elektrotehnika, smjer Automatika

Mat. br. studenta, godina upisa:

A4299, 28.09.2018.

Ephorus podudaranje [%]:

4%

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Utjecaj tehnologije spajanja na recikličnost proizvoda**

izrađen pod vodstvom mentora Doc.dr.sc. Anita Katić

i sumentora Doc. dr. sc. Goran Rozing

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija.

Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. Zadatak rada	1
2. RASTAVLJANJE KAO ELEMENT RECIKLIČNOSTI	2
2.1. Vrste spojeva	2
2.2. Planiranje rastavljanja	6
2.3. Određivanje optimalne dubine rastavljanja	7
2.4. Alati za rastavljanje	8
2.5. Ekonomska analiza rastavljanja	10
2.5.1. Tehnički pristup procjeni troškova rastavljanja.....	10
2.5.2. Mjerenje vremena rastavljanja	11
2.5.3. Prihodi od rastavljanja.....	12
2.5.4. Utjecaj rastavljanja na okoliš.....	13
3. RECIKLIRANJE KROZ ŽIVOTNI CIKLUS PROIZVODA	14
3.1. Recikliranje u životnom ciklusu proizvoda.....	14
3.2. Recikliranje tijekom proizvodnje	14
3.3. Recikliranje tijekom uporabe	15
3.4. Recikliranje nakon uporabe.....	15
4. ANALIZA RASTAVLJANJA NA ODABRANIM PROIZVODIMA	16
4.1. Analiza rastavljanja sušila za kosu.....	16
4.2. Analiza rastavljanja kuhala	22
5. ZAKLJUČAK	26
LITERATURA	27
SAŽETAK	29
SUMMARY	29

1. UVOD

Sve više se značenja pridaje očuvanju i zaštiti okoliša u sektorima proizvodnje, osobito otkako su zakonodavne ustanove povećale pritisak da se provođenje nadogradnje i prikupljanja vlastitih proizvoda izvodi na način ekološke osviještenosti. U zemljama koje se svrstavaju među najrazvijenije zemlje svijeta uvedeni su zakoni da se proizvođači elektroničkih komponenti i automobila prisile da svoje proizvode recikliraju i obnavljaju na završetku njihovog životnog vijeka. Time su sektori proizvodnih djelatnosti prisiljeni nadomjestiti štetu koju su nanijeli okolišu. Proizvođači moraju voditi računa o vlastitom dotrajalom proizvodu, čime proizvođač odgovara za svoje proizvode i nakon što ih njihovi kupci odbace.

Kod odnosa prema okolišu, vrlo su važni i odnosi prema dotrajalim proizvodima, osobito otkako je broj spalionica i odlagališta otpada smanjen jer su oni glavni pokazatelji činjenice kako se proizvodi nakon odlaganja još dugo zadržavaju u okolišu. Isto tako sam napredak i brzi razvoj industrije doveo je do smanjenja životnog vijeka proizvoda. Iz toga razloga se sve veća pozornost daje velikim ekološkim troškovima proizvodnje. Zbog svega navedenog posebnu pažnju treba posvetiti učinkovitoj rastavljivosti proizvoda, čime se poboljšavaju rezultati recikliranja proizvoda te ekonomski pokazatelji. Kako bih se postigla što bolja rastavljivost proizvoda, vrlo je bitna tehnologija spajanja tijekom proizvodnje. Za bolje ekonomske pokazatelje potrebno je smanjiti vrijeme rastavljanja, čime se automatski smanjuju i troškovi rastavljanja proizvoda. Sa stajališta kvalitete recikliranja proizvoda, potrebno je što više materijala razvrstati i reciklirati za ponovno korištenje, čime se u konačnici smanjuje i količina otpada.

1.1. Zadatak rada

U radu je potrebno prikazati podjelu i karakteristike spojeva u tehničkim proizvodima te ih ocijeniti s gledišta prikladnosti recikliranju, odnosno rastavljivosti. Iz praktičnih primjera objasniti poteškoće i predložiti mjere poboljšanja.

2. RASTAVLJANJE KAO ELEMENT RECIKLIČNOSTI

Rastavljanje je sastavni dio životnog vijeka proizvoda koji se definira kao sustavna metoda rastavljanja proizvoda na ugradbene elemente koje čine sklopovi i dijelovi. Sve veća važnost u postupku recikliranja pridodaje se rastavljivosti proizvoda. Glavni razlozi tome su:

- Ponovna uporaba ispravnih sklopova i dijelova te njihovo obnavljanje,
- Uklanjanje dijelova koji sadrže opasne ili štetne tvari,
- Odvajanje dijelova koji otežavaju daljnje recikliranje materijala,
- Odvajanje sklopova ili dijelova koji su prikladni za recikliranje,
- Odvajanje dijelova koji su prijetnja daljnjem recikliranju proizvoda zbog mogućnosti onečišćenja.

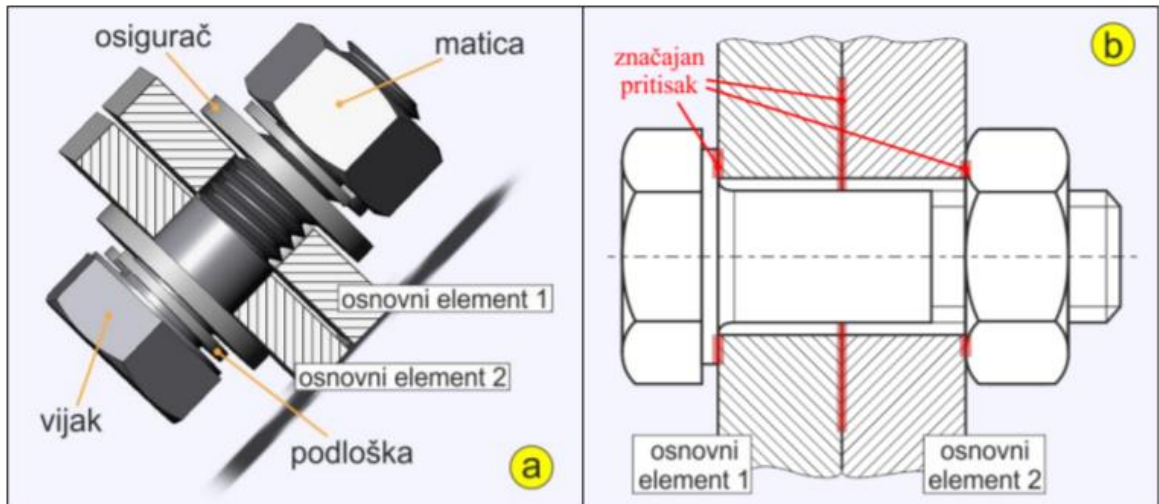
Rastavljanje proizvoda dijeli se na cjelovito rastavljanje i djelomično rastavljanje. Kod cjelovitog rastavljanja, svi podsklopovi, dijelovi i sklopovi su rastavljeni i odvojeni od proizvoda. U drugom slučaju djelomična rastavljivost je kada se jedna komponenta ili više njih odvoje od proizvoda kako bi išli u daljnju obnovu, što znači da su odvojeni od opasnih dijelova ili materijala.

Tehnologija i strategija rastavljanja proizvoda nekada su se bazirali na inverziji sastavljanja proizvoda. Cilj sastavljanja proizvoda je osigurati bolju funkcionalnost proizvoda, što kvalitetnijim povezivanjem komponenti. Rastavljanje proizvoda može imati više od jednog cilja i uvelike utjecati na tehnologiju rastavljanja proizvoda.

2.1. Vrste spojeva

Raskidanje spojeva je usko povezano s rastavljanjem ili odvajanjem dijelova proizvoda. Prije rastavljanja potrebno je proučiti sve spojeve proizvoda, kako bi se olakšao proces rastavljanja proizvoda. Pri spajanju proizvoda postoje različite vrste spojeva koje sa sobom donose i različite probleme pri rastavljanju. Neke od vrsta spojeva koje se koriste kod proizvodnje električnih i elektroničkih proizvoda:

- Vijčani spoj - vrsta spoja koja ograničava gibanje međusobno povezanih komponenata u potpunosti. Osnovni dijelovi od kojih se sastoji vijčani spoj su vijak i matica, vijak ima vanjski navoj koji odgovara unutarnjem navoju matice. Ovaj spoj se često susreće u različitim proizvodima. Vijčani spoj spada u spojeve koji su lako rastavljivi.



Slika 2.1. Prikaz vijčanog spoja [1]

- Zakivanje – nerastavljivo spajanje materijala. Postiže se deformiranjem spoja tijekom procesa spajanja. Ova vrsta spoja se rastavlja jedino uništavanjem samog spoja.



Slika 2.2. Primjer zakovica koje se koristi za povezivanje [2]

- Svornjak – koristi se za zglobno spajanje dijelova. Kod ovakvog spoja jedan dio spoja uvijek je u pokretu.



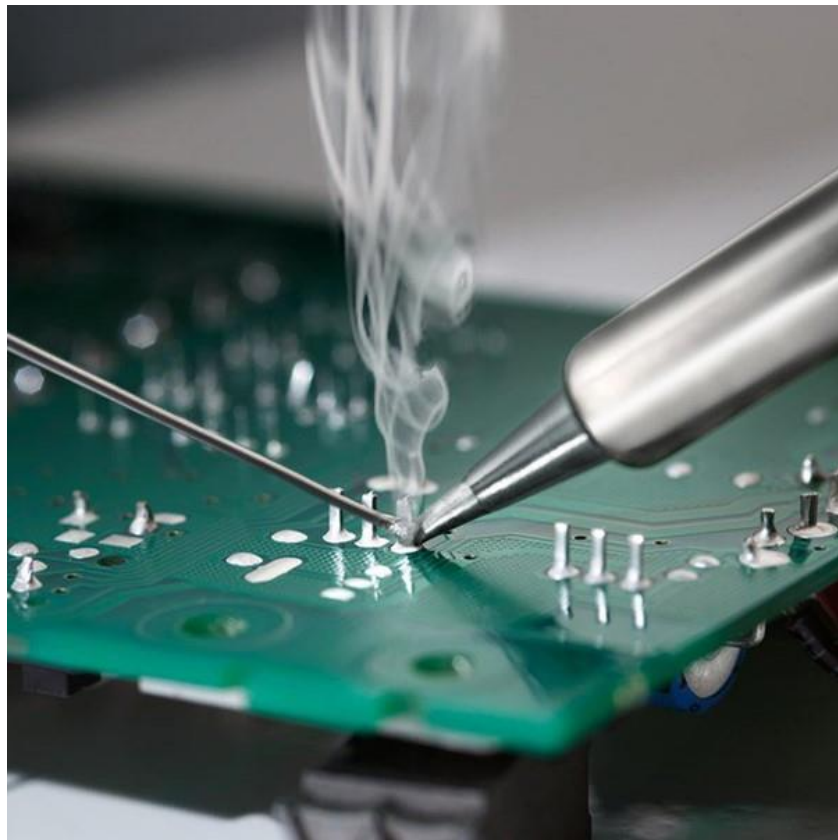
Slika 2.3. Primjer svornjaka [2]

- Zavarivanje – postiže se taljenjem s ili bez dodavanja dodatnog materijala, tako da se ostvari homogeni zavareni spoj. Rubni dijelovi materijala koji se spajaju imaju strukturne promjene. Kod rastavljanja zavarenih spojeva dolazi do oštećenja dijelova. U većini slučajeva nema potrebe za razdvajanjem ovakvih spojeva jer se zavarivanje uglavnom koristi kod povezivanja sličnih ili istih materijala.



Slika 2.4. Prikaz zavarivanja materijala [3]

- Lijepljenje – kao alternativna metoda povezivanja proizvoda sve se češće koristi u različitim industrijskim granama. Lako ih se može integrirati u sve proizvodne procese u sektorima industrije te se lako nanose. Nanošenje može biti ručno, poluautomatsko ili automatsko. Postiže se uz pomoć ljepila koje se nanosi na komponente koje se spajaju. Ovakve veze su obično ireverzibilne, međutim, neke komponente mogu ostati neoštećene. Ljepilo se također može primjenjivati za izolaciju komponenata od utjecaja visokih temperatura, preko folija i adhezivnih traka.
- Lemljenje – spajanje dvaju metalnih dijelova uz pomoć legure koja se nanosi na spoj. Prije nanošenja legure na spoj, legura se mora zagrijati na određenu temperaturu. Također temperatura tališta legure mora biti 50 °C niža od tališta materijala koji se povezuju. Lemljeni spojevi se mogu rastaviti povećanim zagrijavanjem legure koja se nalazi na spoju.



Slika 2.5. Prikaz lemljenja materijala [4]

2.2. Planiranje rastavljanja

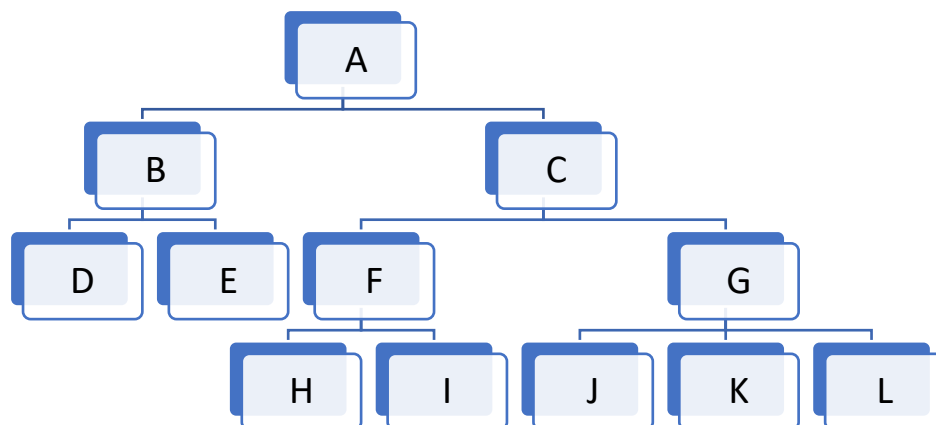
Glavni elementi kod planiranja rastavljanja nekog proizvoda su:

- Analiziranje proizvoda,
- Planiranje redoslijeda rastavljanja,
- Definiranje optimalnog redoslijeda rastavljanja uz odgovarajuću razinu rastavljanja.

Redoslijed rastavljanja započinje s rastavljanjem proizvoda te završava s potpuno ili djelomično rastavljenim proizvodom. Planiranje rastavljanja je ključni faktor za smanjenje količine resursa kao što su novac i vrijeme uloženi u poboljšanje stupnja automatizacije za procese rastavljanja i kvalitetu oporabljenih materijala i dijelova [5]. Isto tako planiranje rastavljanja je preduvjet za preradu i recikliranje proizvoda, s obzirom na to da se većina proizvoda mora prethodno rastaviti da bi se mogli dalje prerađivati u sekundarne materijale ili reciklate.

Kod rastavljanja poželjna je što veća efikasnost i uvažavanje odnosa trošak/korist, poštivanje zaštite okoliša te energije koji direktno utječu na stvarne probleme kod planiranja rastavljanja [6]. Značajka mjere korištenja energije je ta da očuvanje energije treba biti veće od potrebne energije za proces uporabe. Mjere zaštite okoliša ukazuju na to da se s procesom rastavljanja količina štetnog otpada smanji na najnižu moguću razinu. Najčešći ciljevi procesa rastavljanja su povećanje dobiti, smanjivanje količine štetnog otpada i troškova te povećanje ponovno upotrebljivih dijelova.

Slika 2.6, prikazuje sustav rastavljanja proizvoda. Kod prikaza rastavljanja spojeva, cijeli proizvod se rastavlja na veće sklopove koji se zatim rastavljaju do osnovnih elemenata.



Slika 2.6. Opći prikaz rastavljanja proizvoda

Proizvod (A) se rastavlja na veće sklopove (B i C), a zatim na podsklopove (D, E, F i G), te u konačnici na sastavne dijelove (H, I, J, K, L).

2.3. Određivanje optimalne dubine rastavljanja

Dubina rastavljanja je razina do koje se rastavlja dotrajali proizvod, bilo to detaljno do najmanjih dijelova ili djelomično na sklopove.

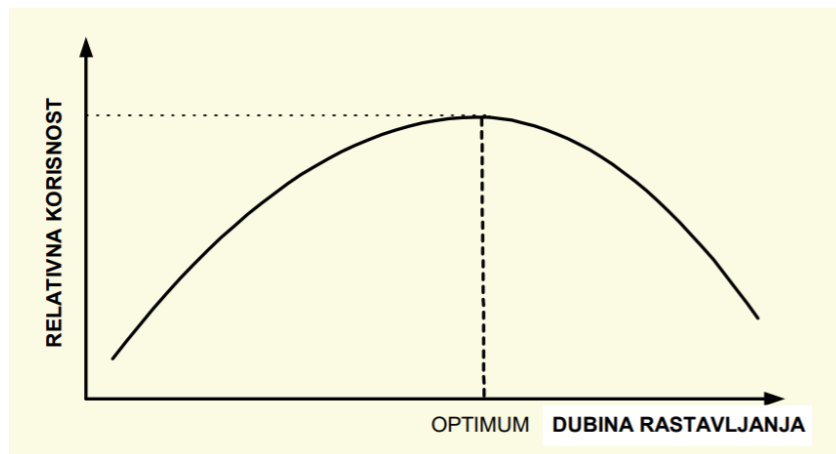
Dubina rastavljanja se dijeli na:

- Malu dubinu rastavljanja,
- Veliku dubinu rastavljanja,
- Optimalnu dubinu rastavljanja.

Kod male dubine rastavljanja iskoristivost je jako mala iz razloga jer se odvajaju samo neki sklopovi koji mogu ići u ponovno korištenje, dok jedan dio sklopova ostaje i dalje neiskorišten.

Kod velike dubine rastavljanja svi se sklopovi rastavljaju, proizvod se rastavlja na najsitnije dijelove pa tako i one koje se ne mogu ponovno koristiti. Rastavljanjem proizvoda do neupotrebljivih dijelova nastaju gubici.

Slika 2.7, prikazuje određivanje optimalne dubine rastavljanja proizvoda, omjer relativne korisnosti i dubine rastavljanja.



Slika 2.7. Graf određivanja optimalne dubine rastavljanja [7]

Optimalna dubina rastavljanja se određuje iz razloga jer se postiže najveća korist uz što manje utrošenog rada, energije i vremena.

Do određivanja optimalne dubine rastavljanja dolazi se:

- Probnim rastavljanjem proizvoda,
- Analizom strukture proizvoda,
- Poznavanjem cijene materijala, rada te postupaka recikliranja.

Kod odbačenih proizvoda koji sadrže opasne tvari, najniža dubina rastavljanja dolazi iz zakonskih odredbi. Istraživanja su pokazala da se danas na ovom stupnju razvoja recikliranja proizvoda i cijene materijala, potpuno rastavljanje proizvoda ekonomski ne isplati niti daje najbolje ekološke učinke.

2.4. Alati za rastavljanje

Tijekom 1990-ih godina, istraživači diljem svijeta radili su na ostvarivanju robotskog rastavljanja proizvoda. Nažalost tadašnja tehnologija i razvijenost dostupnih robota nisu bili na razini potrebnoj za ostvarivanje potpune automatizacije rastavljanja. Današnja tehnologija može pridonijeti fleksibilnosti robotskih postupaka no ipak većina robota su napravljeni na osnovu izvršavanja predodređenih zadataka. Budući razvitak tehnologije može pridonijeti ovakvom načinu pristupa rastavljanju proizvoda. Danas već postoje roboti takve svrhe, no problem je što imaju jako malu fleksibilnost. S druge strane ručno rastavljanje donosi puno bolje rezultate, te je puno učinkovitije, ali za razliku od robotskog rastavljanja zahtjeva puno više vremena što rezultira porastom troškova recikliranja.

Kod robotiziranih postupaka potrebni su različiti alati, hvataljke, senzori te nekoliko vrsta učvršćivača, koji oponašaju pokretljivost i fleksibilnost ljudskih ruku. Ručni postupci ne zahtijevaju širok spektar alata, mogu postići bolje rezultate, ali zahtijevaju određenu opremu za zaštitu radnika te očuvanje njegova zdravlja. Neki od primjera zaštitne opreme korištenih u tu svrhu su slušalice, rukavice, zaštitna maska, itd. Zaštita se provodi iz razloga jer proizvodi mogu sadržavati štetne tvari, te zbog nastajanja krhotina tijekom procesa rastavljanja. Slike 2.8, i 2.9, prikazuju alate za ručno rastavljanje.



Slika 2.8. Kombinirana kliješta



Slika 2.9. Odvijač križasti (lijevo) i ravni (desno) za ručno rastavljanje

Ručno rastavljanje elektroničkih i električnih proizvoda koje se provodi do optimalne dubine rastavljanja zahtjeva neke od alata kao što su čekići, rezači, kliješta, ključevi (različitih veličina), odvijači (križasti i ravni) itd. U nekim slučajevima ručno rastavljanje može zahtijevati pneumatske i električne alate, ovisno o tome koji iznos sile se treba primijeniti u postupku rastavljanja, kakva je pristupačnost određenih komponenata, kolika je količina potrebnog rada te kolika je frekventnost i ponovljivost određenih postupaka. U određenim slučajevima potrebno je koristiti i mehaničke alate, poput mehaničkih škara za razarajuće postupke.

2.5. Ekonomska analiza rastavljanja

Procjeni troškova rastavljanja može se pristupiti na dva načina:

- Tehničkim pristupom,
- Pristupom mjerenja vremena rastavljanja.

Tehnički pristup temelji se na analizi automatiziranog rastavljanja dok se pristup mjerenja vremena rastavljanja temelji na analiziranju ljudskog rada.

2.5.1. Tehnički pristup procjeni troškova rastavljanja

Procjene troškova temeljene na tehničkim aspektima procesa rastavljanja, 1998. godine su izradili autori Asiedu i Gu, oni su isto tako prezentirali i troškove kroz životni ciklus proizvoda [8]. Njihova metoda temelji se na određivanju vremena rastavljanja (4-1), a izraz za vrijeme rastavljanja proizvoda zasniva se na strukturi proizvoda.

Izraz prema kojem se računa vrijeme rastavljanja nekog proizvoda:

$$t_D = \sum_{i=1}^N t_i + \sum_{k=1}^n \left(\sum_{f=1}^F (n_f \cdot t_f)_k + \sum_{p=1}^P (n_p \cdot t_p)_k \right) \quad (4-1)$$

Gdje je:

- t_D vrijeme rastavljanja proizvoda,
- t_i vrijeme uklanjanja komponente i ,
- t_f vrijeme uklanjanja jednog diskretnog spoja tipa f ,
- t_p vrijeme uklanjanja jedne nediskretne veze tipa p ,
- N broj komponenti,
- n broj veza,
- n_f broj dijelova jednoga diskretnog spoja tipa f ,
- n_p broj dijelova jedne nediskretne veze tipa p ,
- F broj diskretnih tipova spoja,
- P broj nediskretnih tipova spoja.

2.5.2. Mjerenje vremena rastavljanja

Za rastavljanje spojeva nisu uvijek prikladni robotizirani postupci. Kod takvih spojeva pristupa se ručnom rastavljanju gdje su troškovi izravna cijena rada, koja je proporcionalna utrošenom vremenu potrebnom za rastavljanje proizvoda. Mjerenje vremena potrebnog za obnavljanje pojedine operacije kod rastavljanja proizvoda, najčešće se izvodi koristeći standardne metode mjerenja rada poput MOST (eng. Maynard Operations Sequence Technique). Međutim, takvi alati nisu efikasni u slučaju mjerenja procesa rastavljanja, s obzirom na to da se postupci koji se ponavljaju ne mogu pretpostaviti.

Za mjerenje vremena rastavljanja tijekom procesa rastavljanja razvijeno je nekoliko metoda. Uspostavljeno je standardizirano osnovno vrijeme, temeljeno na najefikasnijoj metodi obavljanja zadatka pri normalnim uvjetima. Standardizirano osnovno vrijeme prikazano je skalom od 1 do 10, prema kojoj se mjeri složenost izvršavanja pojedinih operacija. Završni rezultat takvog mjerenje se povećava s penalima koji se temelje na faktorima kao što su promjena položaja korištenog alata, pristupačnost spojeva i sila koju treba primijeniti. Također se pribrajaju i dodatni pokreti rukama te izmjena alata. Skupom svih dobivenih vrijednosti, dobiva se brojka koja množenjem sa specifičnim faktorom daje konačno vrijeme rastavljanja.

Mjerenje vremena rastavljanja proizvoda jako je bitno za poboljšanje konstrukcije proizvoda te procesa rastavljanja. Pristup koji su predstavili Kroll i njegove kolege, temelji se na grafikonu procjene rastavljanja u kojem je predodređen slijed rastavljanja [9]. Takav pristup cilja na optimizaciju te procjenu proizvoda. Za alternativne procese rastavljanja moguća je procjena jednog po jednog slijeda. Međutim, takvi načini rastavljanja se ne svrstavaju u sustavne metode optimizacije.

Iako postoji metoda mjerenja vremena rastavljanja, postoji još faktora koji pridonese troškovima rastavljanja. Dodatni faktor troškova za ovu svrhu je i indeks složenosti rastavljanja – INR (eng. disassembly effort indeks – DEI) [10].

Do gomilanja dodatnih bodova za troškove dolazi ako se:

- Upotrebljavaju specijalizirane metode za učvršćivanje,
- Upotrebljavaju specijalizirani alati,
- Dolazi do potreba za vještim radnicima ili uputstvima,
- Dolazi do potrebe za neke od mjera sigurnosti, kao što su maske ili rukavice.

Vrijeme rastavljanja u praksi može znatno odstupati od stvarnog vremena rastavljanja zbog raznih poteškoća koje nisu predvidive. Ovi segmenti imaju značajno velik utjecaj, posebice za proizvode koji nastaju u agresivnim okruženjima, poput strojeva za pranje ili automobila. Dolaskom do kvarova i poteškoća kvaliteta rastavljenog materijala se smanjuje, samim time se smanjuje i kvaliteta rastavljanja, što u konačnosti rezultira smanjenjem recikličnosti proizvoda.

2.5.3. Prihodi od rastavljanja

Utjecaj na okoliš te prihodi od recikliranja su glavni utjecajni faktori kod rastavljanja proizvoda kojima je istekao životni vijek.

Kod financijskih prihoda koji nastaju od recikliranja dotrajalih proizvoda najbitniji su sastav i masa komponenata i podsklopova koji idu na recikliranje. Da bi se prihodi od recikliranja mogli procijeniti potrebno je dobro poznavati kretanje cijena na tržištu reciklata. Isto tako je bitna i procjena za potražnjom nastalog materijala za recikliranje, koja ponekad može biti ograničena. U nekim slučajevima dolazi do nedovoljne čistoće reciklata te se za njega mora platiti zbrinjavanje, u takvim situacijama reciklat donosi samo gubitke [11].

Neobrađeni proizvodi, dijelovi te otpad i oštećeni dijelovi nakon što izađu iz postrojenja za rastavljanje proizvoda odlaze na: preradu, ponovnu uporabu, obnavljanje, recikliranje i konačno zbrinjavanje (spaljivanje ili odlagalište). Tablica 2.1, prikazuje gdje odlaze koji dijelovi nakon procesa rastavljanja.

Tablica 2.1. Prikaz daljnjeg postupka zbrinjavanja dijelova nakon rastavljanja [11]

	Obnavljanje	Prerada	Ponovna uporaba	Recikliranje	Spaljivanje/ Odlaganje
Neobrađeni proizvodi	+			+	+
Moduli	+	+		+	+
Komponente			+	+	+
Oštećene komponente				+	+
Otpad					+

U industriji, podsklopovi te odvojeni dijelovi raspoređuju se u spremnike. Svaki spremnik je namijenjen za određenu vrstu materijala. Ovisno o vrsti i količini rastavljivih materijala, određuje se broj spremnika. Veća količina spremnika omogućuje kvalitetniju razinu odvajanja materijala po kategorijama.

2.5.4. Utjecaj rastavljanja na okoliš

Mjerenje utjecaja procesa rastavljanja na okoliš nije jednostavan proces. Razlog tome je što se više nepovezanih aspekata treba kombinirati kako bi se dobio rezultat utjecaja procesa ili proizvoda na okoliš. Vrlo bitan faktor za procjenu utjecaja određenog proizvoda ili procesa na okoliš je poštivanje zakonom propisanih standarda. Zakon o očuvanju okoliša propisuje ograničenja u proizvodnji (zabrana uporabe nekih kemijskih elemenata u proizvodima), obavezne postupke prema proizvodima koji su pri kraju svog životnog vijeka (uklanjanje baterija), ograničenja kod konačnih postupaka obrade (zabrana odlaganja otpada zbog štetnih utjecaja na okoliš) i zahtjev za zbrinjavanje dotrajalog proizvoda.

Procjena životnog vijeka osnovni je alat za procjenu utjecaja na okoliš tijekom životnog vijeka proizvoda (eng. Life cycle assessment – LCA). Ta metoda određuje koliki je ukupan utjecaj proizvoda na okoliš i opskrba proizvoda energijom tijekom njegovog životnog vijeka. Prethodno spomenuta metodologija standardizirana je ISO 14040 standardom.

3. RECIKLIRANJE KROZ ŽIVOTNI CIKLUS PROIZVODA

Recikliranje znači ponovna upotreba odbačenih i rabljenih proizvoda i materijala u istu ili neku drugu svrhu, s prethodnom doradom ili bez nje. Također se može definirati i kao oponašanje kruženja tvari u prirodi. Recikliranje se provodi isključivo iz ekoloških i ekonomskih razloga. Neke od osnovnih prednosti recikliranja su:

- Preradom materijala koji su odbačeni (tzv. Sekundarne sirovine), čuvaju se zalihe neobnovljivih izvora sirovina (primarne sirovine),
- Štednja energije pri dobivanju materijala iz sekundarnih sirovina,
- Smanjivanjem količine deponiranog otpada smanjuje se zagađenje okoliša.

3.1. Recikliranje u životnom ciklusu proizvoda

Kako i sami proizvodi imaju životni vijek, otpad se pojavljuje u svim fazama, stoga je vrlo bitno planiranje recikliranja kroz sve faze životnog vijeka proizvoda. Proizvodi svoj životni vijek započinju projektiranjem, a zatim i izradom, slijedi uporaba, a zadnja faza je uklanjanje dotrajalog proizvoda. Sagledavanjem proizvoda kroz njegov životni vijek, moguće su sljedeće faze recikliranja proizvoda:

- Recikliranje tijekom proizvodnje, tj. recikliranje proizvoda prije uporabe,
- Recikliranje tijekom životnog vijeka proizvoda (tijekom uporabe),
- Recikliranje nakon životnog vijeka proizvoda (nakon uporabe).

3.2. Recikliranje tijekom proizvodnje

U ovoj fazi recikliranja se pojavljuje najmanje problema iz razloga što je olakšano razvrstavanje i skupljanje, a isto tako i prerada i prijevoz reciklata. U većini slučajeva na mjestu nastanka otpada se obavlja i prerada, odnosno otpad se kao sirovina ponovno uključuje u proces proizvodnje. Otpad se sakuplja najčešće kao sekundarna sirovina te se odvozi u tvornice za proizvodnju materijala na daljnju preradu.

3.3. Recikliranje tijekom uporabe

Ova faza recikliranja se odnosi na otpad koji nastaje održavanjem proizvoda, servisiranjem, tj. zamjenom dotrajalih dijelova. Najbolje rješenje je ponovna uporaba dotrajalih dijelova u neku drugu ili istu namjenu, bez obzira na to jesu li proizvodi prošli prethodno obnavljanje (zavarivanje, tehnička obrada, lijepljenje itd.). Najčešće se otpad prikuplja kao sekundarna sirovina i odvozi se u tvornice na daljnju preradu.

3.4. Recikliranje nakon uporabe

Recikliranje nakon uporabe se odnosi na uklanjanje dotrajalih proizvoda. Tu se pojavljuje najveća količina otpada. Zbog raspršenosti proizvoda na tržištu pojavljuju se problemi koji otežavaju prikupljanje otpada. Razvoj postupaka logistike i prikupljanja otpada u posljednjih desetak godina je znatno primjetan. Od velikog značaja je i razvoj svijesti o očuvanju okoliša koje je neophodno.

4. ANALIZA RASTAVLJANJA NA ODABRANIM PROIZVODIMA

U ovom poglavlju provedena je analiza rastavljanja i recikličnosti na primjeru dva kućanska aparata. Analiza je provedena u cilju utvrđivanja utjecaja primijenjenih spojnih veza na dubinu rastavljanja. Odabrano je sušilo proizvođača Sinbo, te kuhalo proizvođača First Austria (Slika 4.1.). Razlog odabira ovih uređaja je njihova česta prisutnost kao odbačenih proizvoda na otpadu.



Slika 4.1. Sušilo za kosu proizvođača Sinbo i kuhinjsko kuhalo proizvođača First Austria

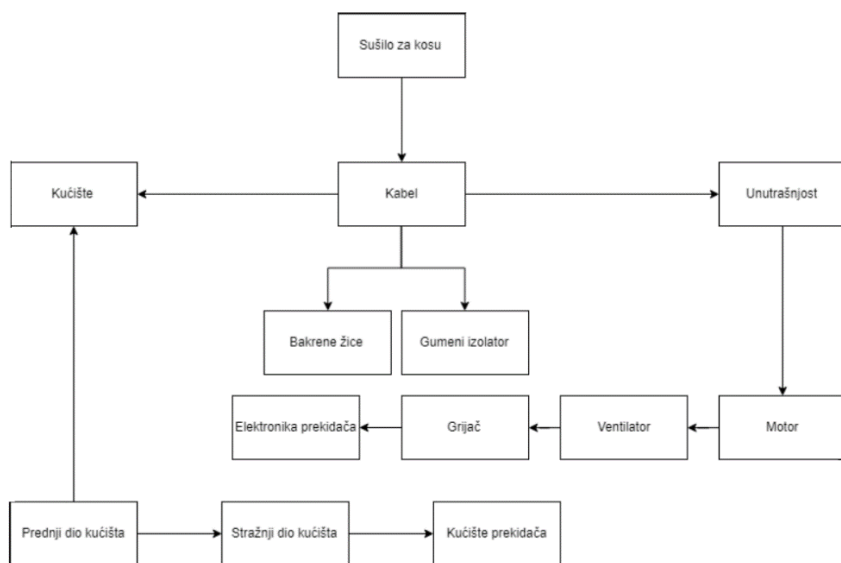
4.1. Analiza rastavljanja sušila za kosu

Prva operacija rastavljanja je odvrtnje vijaka, kako bi se prednji i zadnji dio kućišta mogli odvojiti od rukohvata. Za odvrtnje vijaka korišten je križasti odvijač. Proces odvrtnja vijaka trajao je 25 sekundi, te nije bilo nikakvih poteškoća. Nakon odvrtnja vijaka, ručno se odvojilo kućište od unutarnjeg sklopa sušila. Na slici 4.2, prikazani su svi dijelovi sušila nakon rastavljanja.



Slika 4.2. Prikaz kućišta i dijelova sušila nakon procesa rastavljanja

Na slici 4.3, prikazan je blok dijagram rastavljanja sušila.



Slika 4.3. Blok dijagram rastavljanja sušila

Blok dijagrama rastavljanja sušila hijerarhijski prikazuje proces rastavljanja. Sušilo je rastavljeno na tri osnovna podsklopa (kućište, kabel i unutrašnjost), te se daljnjim rastavljanjem podsklopova došlo do najsitnijih dijelova.

Napojni kabel lemljenim spojem povezan je s prekidačem. Na slici 4.4, prikazan je napojni kabel sušila.



Slika 4.4. Napojni kabel sušila

Napojni kabel se sastoji od bakrenih vodiča koji se nalaze u unutrašnjosti, te gume na spoju kabela s kućištem koja služi za sprječavanje lomljenja kabela. Kabel je ručno odvojen od kućišta, te je nakon toga kliještima odvojen od prekidača.

Nakon odvajanja kućišta i kabela, unutrašnji podsklopovi rastavljeni su na manje komponente. Unutar kućišta nalazi se prekidač, ventilator, elektromotor za pokretanje ventilatora i grijač. Ventilator se sastoji od kućišta i lopatica pogonjenih elektromotorom. Grijač se sastoji od nosača sa šest krakova na kojeg je namotana žica u obliku zavojnice. Na slici 4.5, prikazani su podsklopovi koji se nalaze unutar kućišta.



Slika 4.5. Sklopovi sušila za kosu

Povezivanje pojedinih sklopova i elemenata ostvareno je vijčanim i steznim spojem te lemljenjem i lijepljenjem. Prekidač je povezan s motorom preko vodiča koji je na svojim krajevima lemljenim spojem povezan s obje komponente. Povezanost motora i ventilatora ostvarena je steznim spojem. Za rastavljanje unutrašnjosti sušila korištena su kliješta te pri rastavljanju nije došlo do nikakvih poteškoća.

U tablici 4.1, prikazane su pojedine operacije rastavljanja s pripadajućim vremenima rastavljanja i primijenjenim alatima.

Tablica 4.1. Analiza rastavljanja sušila za kosu

Naziv operacije	Vrijeme odvajanja		Alat
	sek		
	t_i		
2	3	5	
Odvajanje vijaka	25.18		odvijač
Skidanje kućišta	2		ručno
Odsjecanje vodiča napojnog kabela	0.8		klješta
Odvajanje motora i ventilatora	0.5		ručno
Odvajanje prekidača	13.92		klješta
Odvajanje motora	1		ručno
Odsjecanje kondenzatora	0.8		klješta
Električni sklop na motoru	32.9		ručno + odvijač
Odvajanje el. motora od ventilatora	60		ručno + odvijač
Skidanje žice grijača	108.8		ručno + klješta

Ukupno vrijeme rastavljanja sušila iznosi 245,9 sekundi. Za potrebe rastavljanja sušila korišteni su križasti odvijač i klješta. Ovakva analiza ukazuje na to da je ovaj proizvod pogodan za rastavljanje zbog relativno male potrošnje vremena i korištenja samo osnovnog ručnog alata. U tablici 4.2, prikazana je analiza recikličnosti sušila za kosu.

Tablica 4.2. Analiza recikličnosti sušila za kosu

Redni broj	Naziv elementa	Vrsta elementa (SE, PE, SK)	Vrsta materijala	Masa	Komada po proizvodu	Stupanj recikličnosti	Masa	Recikličnost elementa (8x9)
				g/kom			kom	
i			vm_i	m_i	b_i	r_i	$m_i - b_i$	$m_i - b_i - r_i$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Napojni kabel	SK	Složeni materijal	78,03	1	4	78,03	312,12
2	Prednji dio kućišta	SK	ABS plastika	60,37	1	5	60,37	301,85
3	Zadnji dio kućišta	SK	ABS plastika	27,13	1	5	27,13	135,65
4	Vijak 3x15	SE	Čelik	0,65	1	5	0,65	3,25
5	Izolator	PE	Tinjac	3,32	1	5	3,32	16,6
6	Prekidač	SK	Složeni materijal	6	1	4	6	24
7	Žica grijača	PE	Čelik	11,38	1	5	11,38	59,15
8	Ventilator	PE	Nepoznati polimer	7,77	1	2	7,77	15,54
9	Kućište motora i ventilatora	SK	PP plastika	15,26	1	5	15,26	76,3
10	El. motor	SK	Složeni materijal	51,52	1	4	51,52	206,08
11	Nosač žice grijača	SK	Složeni materijal	12,05	1	4	12,05	48,2
12	Kondenzator	PE	Opasni otpad	1,31	1	0	1,31	0,00
13	Otpornik	PE	Opasni otpad	0,8	1	0	0,8	0,00
14	Elektronički sklop	SK	Opasni otpad	2,23	1	0	2,23	0,00
15	Vodič	PE	Složeni materijal	0,3	2	4	0,6	2,4

Pojedini dijelovi sušila za kosu opisani su kroz vrstu elementa te vrstu materijala od kojih su izrađeni. Tablica također prikazuje masu pojedinih elemenata te njihov stupanj recikličnosti pomoću čega se izračunava recikličnost elemenata. Stupanj recikličnosti većine elemenata ovoga uređaja je visok što u konačnici daje visoku recikličnost samog sušila. Jednostavnost spojeva u ovom uređaju znatno pridonosi dobroj rastavljujivosti, što u konačnici pridonosi visokoj recikličnosti analiziranog uređaja. Stupanj recikličnosti sušila za kosu proizvođača Sinbo iznosi 0,86. To je poželjna vrijednost recikličnosti, te ona ukazuje da je recikliranje ovog proizvoda na izvedeni način isplativo.

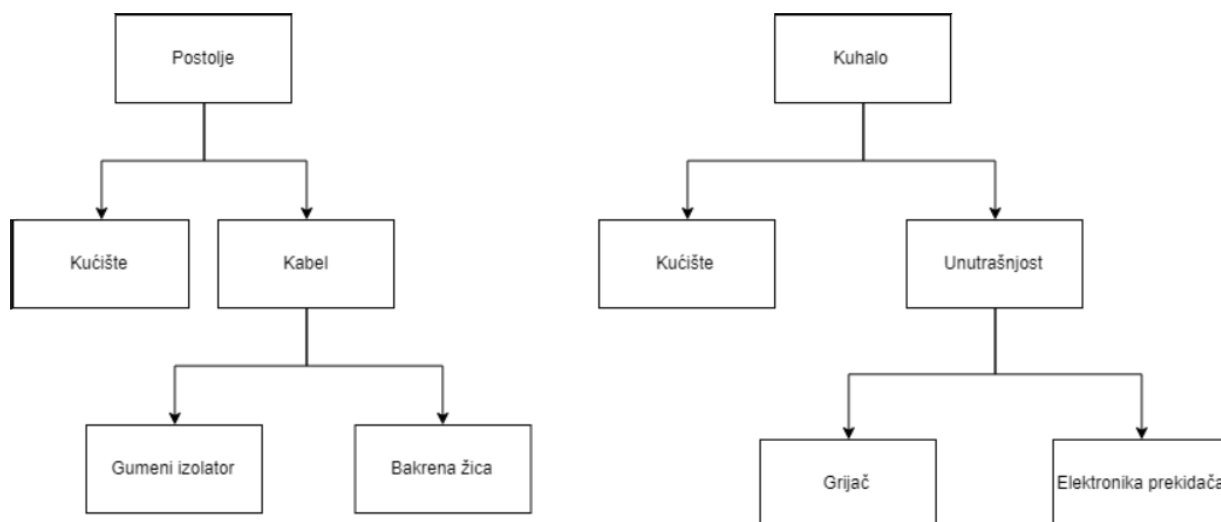
4.2. Analiza rastavljanja kuhala

Rastavljanju se pristupilo odvrtnjem vijaka na kućištu kuhala a zatim i na postolju. Za odvrtnje vijaka kućišta korišten je trokutasti odvijač, dok je za odvrtnje vijaka na postolju korišten križasti odvijač. Proces odvrtnja vijaka kućišta i postolja trajao je 58,2 sekunde, te nije bilo nikakvih poteškoća. Nakon odvrtnja vijaka, ručno se odvojilo kućište kuhala od unutarnjih sklopova, te kućište postolja od napojnog kabela. Na slici 4.6. prikazani su svi dijelovi kuhala nakon rastavljanja kućišta i postolja.



Slika 4.6. Prikaz svih dijelova nakon rastavljanja kuhala za vodu

Na slici 4.7, prikazan je blok dijagram koji hijerarhijski prikazuje proces rastavljanja kuhala, te njegovog postolja.



Slika 4.7. Blok dijagram rastavljanja kuhala i njegovog postolja

Kuhalo je rastavljeno na dva osnovna podsklopa (kućište i unutarnji sklopovi), te se daljnjim rastavljanjem podsklopova došlo do najsitnijih dijelova. Osnovni podsklopovi postolja preko kojeg se kuhalo napaja su kućište i napojni kabel.

Napojni kabel vijčanim spojem povezan je s kućištem postolja. Na slici 4.8, prikazano je kućište postolja te napojni kabel.



Slika 4.8. Dijelovi postolja nakon rastavljanja

Kućište postolja izrađeno je od nepoznatog polimera. Napojni kabel sastavljen je od bakrenih vodiča i gumenih izolatora, te se na krajnjem dijelu kabela nalazi konektor.

Nakon rastavljanja postolja, te odvajanja kućišta kuhala, unutrašnji podsklopovi kuhala rastavljeni su na manje komponente. Unutar kućišta nalaze se grijač i prekidač. Na slici 4.9, prikazani su podsklopovi koji se nalaze unutar kućišta.



Slika 4.9. Grijač (lijevo) i prekidač (desno)

Povezanost pojedinih sklopova i elemenata ostvareno je vijčanim te steznim spojem. Grijač je povezan s kućištem kuhala vijčanim spojem, dok je povezanost prekidača i kuhala ostvarena steznim spojem. Za rastavljanje unutrašnjosti kuhala korišteni su trokutasti odvijač i kliješta te pri rastavljanju nije došlo do nikakvih poteškoća.

U tablici 4.3, prikazane su pojedine operacije rastavljanja s pripadajućim vremenima rastavljanja i primijenjenim alatima.

Tablica 4.3. Analiza rastavljanja kuhala

Naziv operacije	Vrijeme odvajanja	Alat
	sek	
	t_i	
2	3	5
Odvajanje vijaka kućišta (x2)	18,10	odvijač - trokutasti
Odvajanje vijaka na postolju (x4)	5,50	odvijač - križasti
Odvajanje vijaka na poklopcu (x3)	6,45	odvijač - križasti
Odvajanje poklopcu od kućišta	7,10	ručno
Odvajanje grijača od kućišta	8,35	odvijač - trokutasti
Odvajanje prekidača	10,40	kliješta
Odsjecanje vodiča napojnog kabela	0,80	kliješta

Ukupno vrijeme rastavljanja uređaja iznosi 56,7 sekundi. Za potrebe rastavljanja kuhala korišteni su trokutasti i križasti odvijač te kliješta. Ovakva analiza ukazuje na to da je ovaj proizvod pogodan za rastavljanje zbog relativno malo utrošenog vremena i korištenja samo osnovnog alata.

U tablici 4.4, prikazana je analiza recikličnosti kuhala.

Tablica 4.4. Analiza recikličnosti kuhala

Naziv elementa	Vrsta elementa (SE, PE, SK)	Vrsta materijala	Masa elementa	Komada po proizvodu	Stupanj recikličnosti	Masa elemenata (5x6)	Recikličnost elementa (8x9)
			g/kom	kom		grama	
		vm_i	m_i	b_i	r_i	$m_i \cdot b_i$	$m_i \cdot b_i \cdot r_i$
2	3	4	5	6	7	8	9
Vijak (3x10)	SE	Čelik	1,0	9	5	9,0	45,0
Kučište	PE	PP	387,7	1	5	387,7	1938,5
Poklopac	PE	PP	96,3	1	5	96,3	481,5
Postolje	PE	PP	71,2	1	5	71,2	356,0
Grijač	SE	Čelik	112,6	1	5	112,6	563,0
Napojni kabel	SK	Složeni materijal	108,3	1	1	108,3	108,3
Elektronički sklop	SK	Opasni otpad	3,1	1	0	3,1	0,0

Pojedini dijelovi sušila za kosu opisani su kroz vrstu elementa te vrstu materijala od kojih su izrađeni. Tablica također prikazuje masu pojedinih elemenata te njihov stupanj recikličnosti pomoću čega se izračunava recikličnost elementa. Stupanj recikličnosti većine elemenata ovoga uređaja je visok što u konačnici daje visoku recikličnost samog kuhala. Jednostavnost spojeva u ovom uređaju znatno pridonosi dobroj rastavljujivosti uređaja, što pridonosi visokoj recikličnosti analiziranog uređaja. Stupanj recikličnosti kuhala proizvođača First Austria iznosi 0,88. To je poželjna vrijednost recikličnosti te ona ukazuje da je recikliranje ovog proizvoda na izvedeni način prihvatljivo.

5. ZAKLJUČAK

S gledišta industrijske ekologije, rastavljanje proizvoda se provodi u svrhu prikupljanja dijelova proizvoda za daljnju obradu ili upotrebu. Neke od operacija prikupljenih dijelova su prerada, ponovna uporaba, recikliranje, obnova i odlaganje. Daljnji postupak se određuje na osnovu stanja dijelova i materijala od kojih su dijelovi izrađeni. Za postizanje visoke razine kvalitete prikupljenih dijelova, potrebno je proučiti način međusobnog povezivanja dijelova kako bi se rastavljanje moglo provesti na odgovarajući način.

U svrhu poboljšanja kvalitete rastavljanja, razvijene su razne metode i alati za rastavljanje. Rastavljanje se može provoditi do određene dubine. Najučinkovitije rastavljanje je ono koje se provodi do optimalne dubine rastavljanja, koja se određuje prethodnim proučavanjem spojeva proizvoda i planiranje njegova rastavljanja.

U ovom radu za primjer rastavljanja odabrani su sušilo za kosu i kuhinjsko kuhalo. Proces rastavljanja je prikazan analizom rastavljanja, uz koje je opisan način rastavljanja spojeva, te struktura sklopova i podsklopova oba uređaja. Za oba uređaja provedene su analize recikličnosti, koje su prikazane tablicama.

Provođenjem analiza ustanovljeno je da način spajanja tijekom proizvodnje uvelike utječe na rastavljivost proizvoda. Kvalitetniji odabir spojeva tijekom procesa proizvodnje, osigurava jednostavnije rastavljanje proizvoda, te povećava kvalitetu rastavljanja. Odabirom lako rastavljivih spojeva tijekom proizvodnje, povećava se kvaliteta rastavljanja. Kod rastavljanja takvih spojeva ne dolazi do oštećenja materijala koji se rastavlja. Prije rastavljanja potrebno je proučiti sve spojeve proizvoda, te napraviti plan rastavljanja kako bi se olakšao proces rastavljanja proizvoda. Lošom provedbom rastavljanja, recikličnost proizvoda se smanjuje, što ukazuje da je utjecaj rastavljanja na recikličnost proizvoda od velike važnosti.

LITERATURA

- [1] Androić B., Dujmović D., Džeba I.: Metalne konstrukcije 1 – Eurocode; Institut građevinarstva Hrvatske, 1994.
- [2] Božidar Križan i Saša Zelenika, Tehnički fakultet Rijeka, "Konstrukcijski elementi I", 2011.
- [3] Duško Pavletić, dipl. ing., Tehnički fakultet Rijeka, "Zavarivanje I" 2011.
- [4] Dr. sc. Damir Jelaska, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Split, "Elementi strojeva", 2011.
- [5] D. Navin-Chandra: The recovery problem in product design, časopis Journal of Engineering Design, 5(1), str. 65.-86., 1994.
- [6] A. Armillotta; Q. Semeraro: Assessment of destructive operations in disassembly process planning, časopis International Journal of Flexible Automation and Integrated Manufacturing. 5(1-2), str. 57.-78., 1997.
- [7] Pintarić, A., Filetin T. Analiza recikličnosti proizvoda. Zbornik radova III simpozija Gospodarenje otpadom Zagreb 94, Zagreb, 1994. 59-68.
- [8] Y. Asiedu; P. Gu: Product life cycle cost analysis: state of the art review, časopis International Journal of Production Research, 36(4), str. 883.-908., 1998.
- [9] E. Kroll, B. Beardsley, A. Parulian: A methodology to evaluate ease of disassembly for product recycling, časopis International Journal of Productio Research, 38(3), str. 657.-673., 2000.
- [10] S. K. Das; P. Yedlarajiah, R. Narendra: An approach for estimating the end-of-life product disassembly effort and cost, časopis International Journal of Productio Research, 38(3), str. 657.-673., 2000.
- [11] A. J. D. Lambert; S. M. Gupta: Disassembly Modeling for Assembly, Maintenance, Reuse, and Recycling, CRC Press, Boca Raton, Florida, SAD, 2005.
- [12] B. Scholz-Reiter; H. Scharke: Implementatio and testing of a reactive disassembly planner, Proceedings of 4th CIRP International Seminar of Life-Cycle Engineering, str. 378.-387., 1997.

- [13] N. Salomonski; E. Zussman: On-line predictive model for disassembly planning adaption, časopis Robotic and Computer Integrated Manufacturing, 15, str. 211.-220., 1999.
- [14] M. Kljajin, M. Opalić, A. Pintarić, Recikliranje električnih i elektroničkih proizvoda Slavonski Brod-Zagreb-Osijek, 2006.

SAŽETAK

Kroz završni rad opisane su vrste spojeva koje se pojavljuju u elektroničkim proizvodima. Istaknuta je važnost načina rastavljanja proizvoda. Utjecaj spojeva na recikličnost također je uvjetovan rastavljanjem proizvoda. Veliku važnost kod rastavljanja proizvoda ima određivanje optimalne dubine rastavljanja. Navedeni su i opisani alati koji se koriste kod ručnog rastavljanja proizvoda. Obrađena je i tema ekonomske analize proizvoda, kroz koju se opisuje procjena troškova rastavljanja kroz više pristupa rastavljanju proizvoda. Za analizu rastavljanja odabranih uređaja, koriste se neke metode i postupci koji su opisani u poglavljima 2 i 3. Kroz analizu rastavljanja uređaja, prikazuje se utjecaj spojeva na rastavljujivost, koja u konačnici utječe na recikličnost uređaja i financijsku dobit.

KLJUČNE RIJEČI: spojevi, rastavljujivost, recikličnost, proizvodi, alati, uređaji

SUMMARY

The final paper describes the types of compounds that appear in electronic products. The importance of how products are disassembled is emphasized. The effect of the compounds on recycling is also conditioned by the disassembly of the product. Determining the optimum depth of disassembly is of great importance for product disassembly. The tools used to manually disassemble the product are listed and described. The topic of economic product analysis is also covered, which describes the estimation of disassembly costs through multiple approaches to disassembling products. To analyze the disassembly of the selected devices, some of the methods and procedures described in Chapters 2 and 3 are used. Through the analysis of device disassembly, the impact of compounds on disassembly is shown, which ultimately affects device recycling and financial profit.

KEYWORDS: compounds, separability, recycling, products, tools, appliances

ŽIVOTOPIS

Antun Severović rođen je 7. 5. 1996. godine u Novoj Gradiški. U Novoj Gradiški 2011. godine završio osnovnu školu "Ljudevita Gaja". 2015. godine završio srednju tehničku školu „Ruđera Boškovića“ u Vinkovcima, smjer elektrotehničar, te godine 2015. upisao preddiplomski stručni studij elektrotehnike na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku, smjer Automatika.

Stručnu praksu odradio u tvrtki DanieliSystem d.o.o. Informatički je pismen, te posjeduje vještine rada u alatima poput AutoCAD, MATLAB , Siemens SIMATIC STEP7.

Posjeduje vozačku dozvolu B kategorije, te se služi Engleskim jezikom u govoru i pismu.