

# Rasklopivost električnih i elektroničkih proizvoda

---

**Perković, Marija**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:216254>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-25**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

**Marija Perković**

Zagreb, 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr.sc. Zoran Kunica

Student:

Marija Perković

Zagreb, 2023.

**ZADATAK**

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
 Povjerenstvo za završne i diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:  
 proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo  
 materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 – 04 / 23 – 6 / 1	
Ur.broj: 15 - 1703 - 23 -	

**ZAVRŠNI ZADATAK**

Student: **Marija Perković**

JMBAG: **0035226372**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Rasklopivost električnih i elektroničkih proizvoda**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Disassemblability of electrical and electronic products**

Opis zadatka:

Demontaža ili rasklapanje od sve je većeg značaja u postupcima reciklaže dotrajalih proizvoda, pa je stoga važna i procjena rasklopivosti proizvoda.

U radu je potrebno:

1. objasniti značaj demontaže, posebno električnih i elektroničkih proizvoda
2. istražiti i opisati neke od postojećih pristupa i metoda za analizu rasklopivosti proizvoda
3. analizirati rasklopivost odabranog proizvoda Sonyjevom metodom.

Zadatak zadan:

30. 11. 2022.

Datum predaje rada:

**1. rok:** 20. 2. 2023.  
**2. rok (izvanredni):** 10. 7. 2023.  
**3. rok:** 18. 9. 2023.

Predviđeni datumi obrane:

**1. rok:** 27. 2. – 3. 3. 2023.  
**2. rok (izvanredni):** 14. 7. 2023.  
**3. rok:** 25. 9. – 29. 9. 2023.

Zadatak zadao:

Prof. dr.sc. Zoran Kunica

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Branko Bauer

## **IZJAVA**

Izjavljujem da sam ovaj rad izradila samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se prof. dr.sc Zoranu Kunici na stručnoj pomoći tijekom izrade ovog rada.

Također zahvaljujem obitelji i prijateljima na potpori koju su mi pružili tijekom studiranja.

U Zagrebu, 20. rujna 2023.

Marija Perković

## **SAŽETAK**

U radu je opisan značaj rasklapanja, s naglaskom na električne i elektroničke uređaje. Navedeno i objašnjeno je nekoliko poznatih metoda za ispitivanje rasklapanja: oblikovanje za recikliranje, analiza rasklopivosti, oblikovanje za rasklapanje i Sonyjeva metoda analize rasklopivosti. Provedena je analiza rasklopivosti uređaja za ravnanje kose primjenom Sonyjeve metode.

Ključne riječi: rasklapanje, električni i elektronički uređaji, recikliranje, rasklopivost, Sonyjeva metoda

## **SUMMARY**

This work describes the importance of disassembly, with an emphasis on electrical and electronic devices. Several well-known disassembly test methods are listed and explained: design for recycling, disassembly analysis, design for disassembly and the Sony's method of disassembly analysis. An analysis of the disassembly of the hair straightener was carried out using the Sony method.

Keywords: disassembly, electrical and electronic devices, recycling, Sony's method

# SADRŽAJ

ZADATAK.....	I
IZJAVA .....	II
SAŽETAK.....	III
SUMMARY .....	IV
POPIS OZNAKA I MJERNIH JEDINICA FIZIKALNIH VELIČINA .....	VI
POPIS SLIKA .....	VII
POPIS TABLICA.....	VIII
<b>1. UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2. METODE I PRISTUPI ZA ANALIZU RASKLOPIVOSTI PROIZVODA .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1. Oblikovanje za recikliranje .....</b>	<b>3</b>
<b>2.2. Analiza rasklapanja.....</b>	<b>5</b>
<b>2.3. Oblikovanje proizvoda za rasklapanje .....</b>	<b>6</b>
<b>2.4. Metoda DAC .....</b>	<b>9</b>
2.4.1. Osnovne operacije .....	10
2.4.2. Kriteriji ocjenjivanja.....	10
2.4.2.1. Značajka rasklapanja .....	10
2.4.2.2. Značajka dijelova.....	13
2.4.2.3. Značajka procesa .....	13
2.4.3. Pravila ocjenjivanja .....	14
2.4.3.1. Osnovna pravila.....	14
2.4.3.2. Posebna pravila.....	16
2.4.4. Osnovni proces ocjenjivanja.....	18
2.4.5. Interpretacija DAC rezultata.....	22
<b>3. ANALIZA RASKLOPIVOSTI UREĐAJA ZA RAVNANJE KOSE.....</b>	<b>23</b>
<b>3.1. Osnovne radnje za rasklapanje uređaja za ravnanje kose .....</b>	<b>26</b>
3.1.1. Značajke rasklapanja .....	26
3.1.2. Značajke procesa .....	27
3.1.3. Značajke dijelova.....	28
<b>3.2. Osnovni proces vrjednovanja rasklapanja.....</b>	<b>29</b>
<b>3.3. Odabir koncepta konstrukcije za rasklapanje proizvoda.....</b>	<b>30</b>
<b>3.4. Interpretacija rezultata analize rasklapanja .....</b>	<b>31</b>
<b>4. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>33</b>
<b>5. LITERATURA .....</b>	<b>35</b>



## POPIS KRATICA, OZNAKA I MJERNIH JEDINICA FIZIKALNIH VELIČINA

Oznaka	Mjerna jedinica	Značenje/Opis
DFD		eng. <i>Design for Disassembly</i> – Oblikovanje za rasklapanje
eng.		engleski
EE otpad		električni i elektronički otpad
PVC		Poli(vinil-klorid)
PCB		Poliklorirani bifenili
CFC		Kloroflourougljici
CRT		eng. <i>Catode Ray Tube</i> – vrsta zaslona temeljena na staklenoj katodnoj cijevi
Li-Ion		Litij-ionska baterija
NiCd		Nikal-kamdijeva baterija
DFR		eng. <i>Design For Recycling</i> – oblikovanje proizvoda za recikliranje
SMDA		eng. <i>Sony Method of Disassembly Analysis</i> – Sonyjeva metoda analize rasklopivosti
LCA		eng. <i>Life–Cycle Assesment</i> – životni ciklus proizvoda
CAD		eng. <i>Computer Aided Design</i> – oblikovanje pomoću računala
DAC		eng. <i>Design Analysis Control</i> – upravljanje analizom oblikovanja

## POPIS SLIKA

Slika 1. Primjer stabla strukture proizvoda [5].....	7
Slika 2. Prijenosno računalo <i>Concept Luna</i> [8].....	9
Slika 3. Dijagram toka odvajanja držača pričvršćenog vijkom.....	10
Slika 4. Primjer orijentacije dijelova prilikom rasklapanja.....	11
Slika 5. O - Ring.....	12
Slika 6. Inbus vijak.....	12
Slika 7. Simboli dijelova.....	19
Slika 8. Simboli za orijentaciju.....	20
Slika 9. Primjer tablice osnovnog ocjenjivanja.....	22
Slika 10. Uređaj za ravnanje kose marke IDEENWELT.....	23
Slika 11. Plastično kućište.....	24
Slika 12. Keramičke pločice.....	25
Slika 13. Tiskana pločica.....	25
Slika 14. Vijci i gumb za regulaciju.....	26
Slika 15. Zone koncepata.....	32

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Smjernice metode DFD .....	7
Tablica 2. Primjeri postavljenih tolerancija.....	16
Tablica 3. Bodovanje kod posebnih pravila za dimenzije, masu i temperaturu .....	18
Tablica 4. Simboli za ciljeve rasklapanja .....	19
Tablica 5. Značajke dijelova.....	28
Tablica 6. Cilj rasklapanja uređaja .....	29
Tablica 7. DAC tablica .....	29
Tablica 8. Osnovni koncepti oblikovanja za rasklapanje .....	31

## 1. UVOD

Ideja oblikovanja za rasklapanje (eng. *Design For Disassembly* – DFD) prisutna je već dulje vrijeme pri oblikovanju proizvoda. Oblikovanje za rasklapanje odnosi se na procese konstruiranja struktura koje se mogu jednostavno rastaviti i time olakšati popravke, nadogradnju i reciklažu. Materijali i komponente se nakon rasklapanja mogu ponovno koristiti i na taj način se maksimira životni vijek proizvoda. Rastavljanje proizvoda i ponovno korištenje originalnih komponenti, bilo u svrhu za koju su namijenjene ili za potpuno drugačiji proizvod, sa sobom donosi brojne prednosti, s naglaskom na prednosti po okoliš. Uz to što se smanjuje otpad koji nastaje odlaganjem komponenti, smanjuje se i potreba za korištenjem sirovih materijala. Budući da se ponovnim korištenjem proizvoda znatno smanjuju troškovi materijala, jer se materijal treba samo prilagoditi, a ne i ponovno dobavljati, jednostavna demontaža ima prednosti i sa ekonomskog aspekta. Imajući to na umu, pri razvoju proizvoda potrebno je koristiti izdržljivije materijale, kako bi njihov životni vijek bio dulji nego životni vijek samog proizvoda.

Digitalna i informacijska revolucija rezultirale su sve većim brojem elektroničkih komponenti unutar uređaja, sam broj uređaja je sve veći, a životni vijek postaje sve kraći. Zbog toga dolazi do generiranja velike količine električnog i elektroničkog otpada (EE otpad), čiji udio u ukupnom otpadu Europske unije trenutno pokazuje najveći rast [1].

EE otpad podrazumijeva vrlo širok spektar uređaja a dijeli se u šest skupina:

1. oprema za izmjenu topline – hladnjaci, ledenice, toplinske pumpe...
2. zasloni, monitori i oprema koja sadrži površine veće od 100 cm<sup>2</sup>
3. žarulje
4. velika oprema (bilo koja dimenzija veća od 50 cm) – perilice i sušilice rublja, perilice suđa, pećnice...

5. mala oprema (nijedna vanjska dimenzija nije veća od 50 cm) – usisavači, glačala, tosteri, mikrovalni uređaji...
6. Mala oprema informatičke tehnike (nijedna vanjska dimenzija nije veća od 50 cm) – mobilni uređaji, džepni kalkulatori, računalna oprema... [2]

Kada se sažme u jednu cjelinu, EE otpad predstavlja kompleksnu mješavinu različitih materijala, od kojih neki mogu biti opasni, što može imati vrlo negativne posljedice po okoliš i ljudsko zdravlje tj. sav živi svijet. Štetne tvari u EE otpadu su:

- teški metali – olovo, živa, kadmij i berilij
- opasne tvari – nezapaljiva sredstva koja sadrže brom (plastična kućišta), PVC, poliklorirani bifenili (PCB), kloroflourouglijci (CFC).

Primjerice, olovo se koristi u zalemljenim spojevima i CRT monitorima, zlato se može pronaći u oplatama konektora, litij u litij-ionskim (Li-Ion) punjivim baterijama, a kadmij u nikal-kadmij (NiCd) punjivim baterijama [3].

Iz gore navedenih razloga, uzimanje u obzir rasklopivosti proizvoda pri samoj njegovoj konstrukciji, može znatno povećati jednostavnost rasklapanja i time mogućnost reciklaže, što sobom povlači i smanjenje EE otpada koji trenutno predstavlja veliku prijetnju okolišu.

## 2. METODE I PRISTUPI ZA ANALIZU RASKLOPIVOSTI PROIZVODA

Postoje razne metode analize rasklopivosti koje se koriste u industriji kako bi se unaprijedili proizvodi i s proizvodima povezani procesi, uzimanjem u obzir načela oblikovanja za rasklapanje.

Neke su od tih metoda:

1. Oblikovanje proizvoda za recikliranje (eng. *Design For Recycling* – DFR)
2. Analiza rasklapanja (eng. *Teardown Analysis*)
3. Oblikovanje proizvoda za rasklapanje (eng. *Design for Disassembly* – DFD)
4. Sonyjeva metoda analize rasklopivosti (eng. *Sony Method of Disassembly Analysis* – SMDA).

Navedeni pristupi su osmišljeni kako bi pomogli proizvođačima električnih proizvoda da identificiraju i eliminiraju probleme koji utječu na rasklopivost i reciklažu, te tako poboljšaju performanse i odgovornost prema okolišu. U nastavku će spomenute metode biti поближе objašnjene.

### 2.1. Oblikovanje za recikliranje

Oblikovanje za recikliranje je pristup projektiranju proizvoda koji se temelji na principima recikliranja materijala. Proizvodi koji su oblikovani za recikliranje često su konstruirani od reciklirajućih materijala ili su konstruirani tako da su lako rasklopivi, što olakšava recikliranje i smanjuje potrebu za novom proizvodnjom. Ovaj pristup također uključuje analizu životnog ciklusa proizvoda (eng. *Life-Cycle Assessment* – LCA), kako bi se

identificirale faze u kojima proizvod najviše utječe na okoliš, a zatim se razvijaju strategije smanjenja tih utjecaja.

Konstruiranje proizvoda izvodi se u fazama. Svaka od tih faza utječe na konačno recikliranje kroz promjene koje stvara u fizičkim svojstvima materijala.

Pristup DFR primjenjuje pet pravila koja se bave tehnološkim i ekonomskim mogućnostima i ograničenjima u cijelom sustavu od konstruiranja do recikliranja. Ta pravila su:

1. Budući da se proizvodi međusobno mogu znatno razlikovati, DFR pravila su specifična za svaki proizvod i sustav, što znači da pretjerano pojednostavnjenje recikliranja definiranjem općih pravila neće proizvesti željeni cilj učinkovitosti. Zbog svoje funkcionalne i jedinstvene mješavine materijala, svaki proizvod ima jedinstven profil mogućnosti recikliranja. To podrazumijeva da svaki proizvod ima jedinstven skup DFR smjernica, a te smjernice treba izvesti i usavršavati za svaki proizvod ili grupu proizvoda primjenom simulacijskih modela recikliranja koji mogu mapirati bilo koji sustav recikliranja i njegove mogućnosti i ograničenja.
2. DFR zahtijeva kvantifikaciju temeljenu na modelu i simulaciji, odnosno potreban mu je alat koji je sposoban kvantificirati profil recikliranja proizvoda kako bi se odredio prioritet unutar prilagodbi konstrukcije koje treba implementirati i uvid u učinak poboljšanog dizajna na učinkovitost resursa (indeks recikliranja, toksičnost, utjecaj na okoliš i slično).
3. Projektni podaci trebaju biti dostupni u formatu koji je kompatibilan s detaljima potrebnim za optimiranje i kvantificiranje učinkovitosti recikliranja za sve prisutne materijale.
4. Za realizaciju industrijskih DFR pravila i metodologije mora postojati ekonomski održiva tehnološka infrastruktura. Dizajn se mora temeljiti na robusnoj infrastrukturi za fizičko odvajanje i razvrstavanje otpada koja je minimalno sposobna za proizvodnju ekonomski vrijednih reciklata, a robusna infrastruktura mora postojati.
5. CAD alati za konstruiranje moraju biti povezani s alatima za simulaciju procesa kako bi se realizirao tehnološki utemeljen DFR. Na temelju simulacije procesa recikliranja

i detaljnih podataka o sastavu proizvoda izvedenih iz CAD-a mogu se izvesti pokazatelji učinkovitosti recikliranja.

Različite smjernice za konstruiranje izvedene su iz gore primijenjenih načela. Neke od njih jesu:

- Identifikacija i minimiranje materijala koji će zbog svojih karakteristika uzrokovati gubitke i onečišćenja pri reciklaži (primjer bi bio korištenje obojenih upravljačkih ploča).
- Identifikacija i minimiranje materijala koji će uzrokovati probleme i gubitke pri reciklaži zbog kombinacije materijala – potrebno je izraditi matricu kompatibilnosti na osnovu znanja o svojstvima materijala.
- Konstruiranje komponenti koje se mogu lako ukloniti.
- Razvijanje sustava označavanja materijala prema njihovoj mogućnosti da se recikliraju kako bi se mogli identificirati pri automatskom razvrstavanju otpada.
- Vođenje računa o načinu spajanja komponenti u proizvodu, odnosno simuliranje i poznavanje ponašanja prilikom rastavljanja. Naprimjer, minimiranje upotrebe ljepila za nepoželjne i nekompatibilne spojeve kao što je lijepljenje stakla na čeličnu masku CRT televizora, korištenje zapečaćenih baterija ili korištenje zakovica koje su različite vrste materijala od komponenti koje se njima spajaju [4].

## 2.2. Analiza rasklapanja

Analiza rasklapanja (eng. Teardown Analysis) je metoda istraživanja konstrukcije i funkcije proizvoda njegovim razdvajanjem na komponente i analiziranjem hardvera i softvera, sustava, funkcije, korištenih materijala, proizvodnih procesa i troškova svake komponente.

Proizvod se rasklapa na osnovne komponente pri čemu se koriste alati i tehnike koje minimalno oštećuju komponente, nakon čega se svaka komponenta identificira i dokumentira, pri tom uključujući informacije o proizvođaču, materijalu i načinu montaže. Nakon dokumentiranja, komponente podliježu detaljnoj analizi kako bi se razumjela njihova



funkcija, dizajn i kvaliteta. Osim pojedinačne analize, istražuje se povezanost i međuovisnost komponenti u sklopu proizvoda.

Na temelju analize komponenti dobivaju se informacije o dobrim i lošim karakteristikama proizvoda, kao i područje mogućih poboljšanja. Analiza rasklapanja se može koristiti kada originalna dokumentacija o proizvodu više nije dostupna ili ukoliko se nastoje reducirati troškovi proizvodnje (naprimjer, smanjenjem dimenzija proizvoda ili korištenjem drugih, jeftinijih materijala koji zadovoljavaju tražene specifikacije).

Analiza rasklopivosti može obuhvatiti i procjenu sigurnosnih aspekata proizvoda, a posebno u slučaju elektroničkih proizvoda, gdje sigurnosna analiza uključuje električne kontakte, strujne krugove i komponente kako bi se osiguralo da nema kratkih spojeva, preopterećenja ili drugih električnih problema koji bi mogli uzrokovati požar i ozljede.

Također, analiza *teardown* često se koristiti i za istraživanje konkurencije. Proučavanjem konkurentskog proizvoda može se dobiti uvid u strategije dizajna, inovacije i troškove proizvodnje.

Nakon analize, priprema se detaljan izvještaj koji sadrži sve potrebne informacije, zaključke i preporuke koje pružaju daljnje smjernice za razvoj i poboljšanje proizvoda.

### **2.3. Oblikovanje proizvoda za rasklapanje**

Oblikovanje proizvoda za rasklapanje (eng. *Design For Disassembly* – DFD) je metoda u kojoj se pri oblikovanju stavlja naglasak na što jednostavniju demontažu proizvoda. Jednostavna rasklopivost olakšava zamjenu komponenti unutar proizvoda, ponovno korištenje dijelova koji se mogu iskoristiti nakon što završi životni ciklus proizvoda kao cjeline i recikliranje materijala.

Proizvodi za koje se pri oblikovanju koristila navedena metoda predstavljaju znatnu uštedu vremena i resursa pri rasklapanju i preradi u odnosu na proizvode čija je konstrukcija obavljena bez primjene DFD metode.

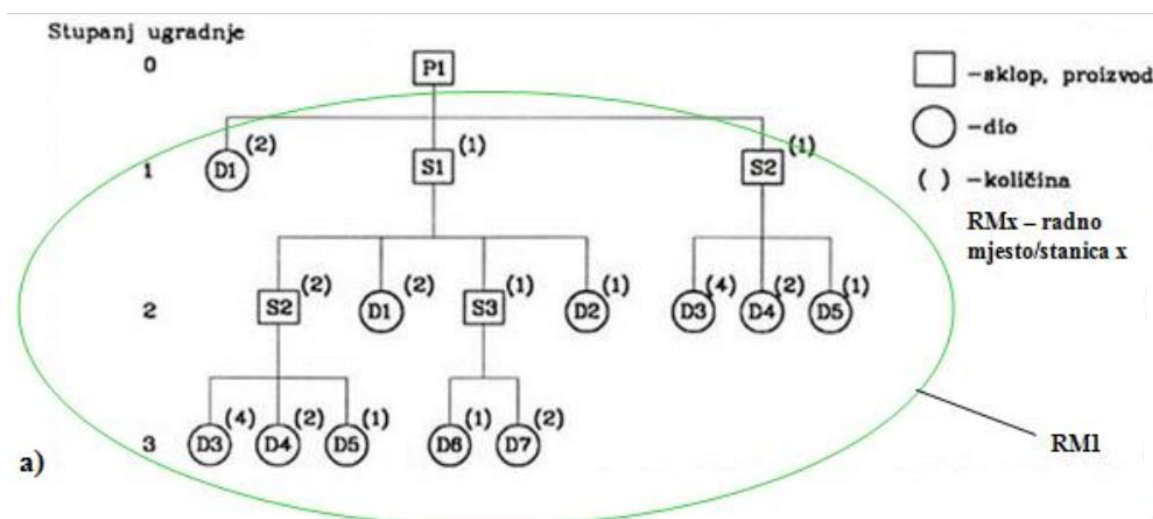
Osnovne smjernice metode DFD jesu (Tablica 1.):

- Primjena metode u što ranijoj fazi konstruiranja
- Pojednostavljenje načina spajanja komponenti.

**Tablica 1. Smjernice metode DFD**

DFD smjernice	Razlog
Minimiziranje broja elemenata za spajanje	Uklanjanje elemenata za spajanje oduzima najviše vremena
Smanjenje broja alata koji su potrebni za uklanjanje elemenata za spajanje	Izmjena alata oduzima vrijeme
Elementi za spajanje trebaju biti jednostavni za ukloniti	Štedi vrijeme tijekom demontaže

U mnogim slučajevima, proizvod se može rastaviti hijerarhijski po svojim stupnjevima ugradnje na određeni broj dijelova i sklopova (Slika 1.).



**Slika 1. Primjer stabla strukture proizvoda [5]**

I/ILI grafovi i Petrijeve mreže su neki od matematičkih modela kojima se uspostavlja veza između sklopova i dijelova, kao i mogući načini rasklapanja proizvoda u pojedinačne dijelove.

I/ILI graf se koristi kako bi se pronašlo rješenje problema na način da se jedan problem razloži na više manjih i za svaki problem se pronalazi rješenje. Bazira se na pronalasku stabilnih sklopiva i fizički izvedivih načina demontaže sklopa.

Petrijeva mreža služi za prikaz i modeliranje dinamičkih sustava u svrhu analize njihovog ponašanja u različitim okolnostima. Pristup s Petrijevom mrežom je sposoban modelirati proces rasklapanja i resurse sustava istovremeno.

Ovi matematički modeli, bazirani na hijerarhijskom stablu, koriste se kako bi se odredila najkraća putanja do jezgre i geometrijskih ograničenja proizvoda. [6]

Primjer primjene DFD metode za rasklapanje elektroničkih uređaja je kompanija Dell, koja je krajem 2021. godine predstavila model lako rasklopivog prijenosnog računala pod nazivom *Concept Luna* (Slika 2.), koji se razlikuje od prethodnih modela u sljedećem:

- Smanjen je broj vijaka potrebnih za pristup unutarnjim komponentama zbog popravka ili ponovnog korištenja s nekoliko stotina na samo četiri – smanjujući vrijeme potrebno za rasklapanje za otprilike 1,5 sati.
- Tipkovnica je lako odvojiva od ostalih komponenti.
- Minimiran je broj kabela.
- Matična ploča izrađena je od lanenih vlakana i polimera topljivog u vodi kao ljepila. Laneno vlakno zamjenjuje plastične laminate, a polimer se topi u vodi i metali i komponente se mogu lakše odvojiti od ploče. [7]



Slika 2. Prijenosno računalo *Concept Luna* [8]

## 2.4. Metoda DAC

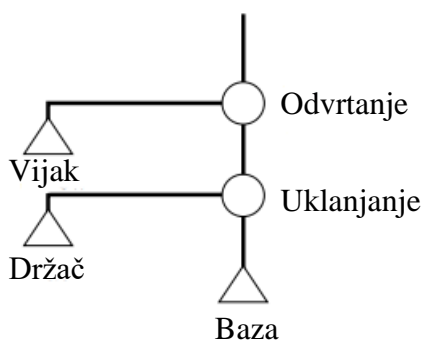
Metodu DAC (eng. *Design Analysis Control* – upravljanje analizom oblikovanja) razvila je tvrtka Sony 1984. godine u Japanu pod vodstvom Yasuyukija Yamagiwe. Cilj metode je ocjenjivanje efikasnosti sklapanja odnosno rasklapanja proizvoda prije njegove izrade, i na osnovi toga, donošenje konačne odluke o konstrukciji proizvoda uzimajući u obzir financijsku isplativost.

DAC metoda razdvaja cijeli proces sklapanja na skupine osnovnih radnji. Maksimalan broj bodova koji osnovna radnja može dobiti je 100, a od tog broja se oduzimaju bodovi koji predstavljaju probleme tijekom sklapanja. Sklopivost radnje opisuju značajke dijelova, sklapanja i procesa.

### 2.4.1. Osnovne operacije

Rasklapanje se odnosi na odvajanje i uklanjanje dijelova, i njihovu obradu prije i poslije izvođenja tih radnji.

Primjerice, kada se želi odvojiti dio koji je pričvršćen vijkom (u ovom slučaju to je držač) potrebno je izvođenje dviju radnji: odvrtnanje vijka i uklanjanje nosača (Slika 3.).



Slika 3. Dijagram toka odvajanja držača pričvršćenog vijkom

### 2.4.2. Kriteriji ocjenjivanja

Svaka osnovna radnja ocjenjuje se prema jednostavnosti rasklapanja poštujući tri osnovne značajke konstrukcije:

1. Značajka rasklapanja – procjenjuje jednostavnost orijentacije, stezanja i rasklapanja dijela
2. Značajka dijelova – uzima u obzir oblik i ostale karakteristike prema kojima se određuje jednostavnost rasklapanja
3. Značajka procesa – opisuje lakoću s kojom bazni dio može biti stegnut i okrenut za vrijeme procesa rasklapanja.

#### 2.4.2.1. Značajka rasklapanja

Orijentacija, stezanje i rasklapanje su ključni pojmovi prema kojima se ocjenjuje značajka rasklapanja.

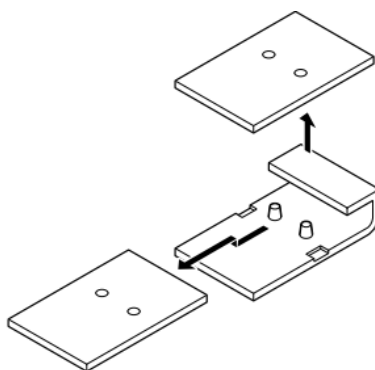
Orijentacija opisuje jednostavnost pomicanja dijela po z–osi kada se obavlja radnju rasklapanja, kako slijedi:

**ORIJENTACIJA 0** - Orijehtacija prema gore

**ORIJENTACIJA 10** - Orijehtacija bočno

**ORIJENTACIJA 20** - Orijehtacija dijagonalno ili zakrivljena gibanja.

Na slici 4. prikazani su primjeri orijentacije dijelova prilikom rasklapanja.



**Slika 4. Primjer orijentacije dijelova prilikom rasklapanja**

Stezanje opisuje potrebu pričvršćivanja baznog dijela za vrijeme operacije:

**STEZANJE 0** - Nije potrebno stezanje za vrijeme rasklapanja

**STEZANJE 10** - Potrebno je stegnuti prilikom rasklapanja.

Rasklapanje opisuje jednostavnost odvajanja dijela i ima ocjenu za svaku individualnu operaciju:

**UKLANJANJE 0** - Normalno uklanjanje

**UKLANJANJE 10** - Posebno uklanjanje (naprimjer: uklanjanje u više koraka, istodobno uklanjanje više dijelova...)

**UKLANJANJE 20** - Uklanjanje mekih ili fleksibilnih dijelova (primjer: uklanjanje žice)

IZVLAČENJE 10

- Moguće je uklanjanje izvlačenjem

UKLANJANJE  
SIGURNOSNOG  
PRSTENA 10

- Normalno uklanjanje sigurnosnog prstena (primjer: O-ring, Slika 5.).



Slika 5. O - Ring

UKLANJANJE  
SIGURNOSNOG  
PRSTENA 20

- Uklanjanje sigurnosnog prstena specijalnim alatima (primjerice kliještima)

ODVIJANJE 20

- Normalno odvijanje

ODVIJANJE 30

- Specijalno odvijanje – specijalni vijci (primjeri: inbus vijak (Slika 6.), vijak s ravnim prorezom)



Slika 6. Inbus vijak

REZANJE 10

- Normalno rezanje

REZANJE 20

- Specijalno rezanje

SAVIJANJE 10 - Normalno savijanje

SAVIJANJE 20 - Specijalno savijanje

UKLANJANJE  
OPRUGE/REMENA 20 - Uklanjanje torzijske opruge.

#### 2.4.2.2. Značajka dijelova

Značajke dijelova opisuju pojmovi uklanjanje (eng. *remove*) i odabir (eng. *select*). Uklanjanje opisuje jednostavnost dohvaćanja i pomicanja dijela, dok odabir opisuje jednostavnost sortiranja i razvrstavanja materijala, kako slijedi:

UKLANJANJE 0 - Jednostavan prihvrat i uklanjanje

UKLANJANJE 10 - Otežan prihvrat i uklanjanje (naprimjer: savitljivi i mekani dijelovi, osjetljivost na prašinu i dodavanje)

ODABIR 0 - Jednostavno razvrstavanje

ODABIR 20 - Otežano razvrstavanje.

#### 2.4.2.3. Značajka procesa

Ključne riječi za značajku procesa su stezanje i okretanje. Stezanje opisuje potrebu fiksiranja dijela prije rasklapanja, a okretanje opisuje radnju okretanja osnovnog dijela kako bi se izvršila sljedeća radnja u procesu rasklapanja:

STEZANJE 0 - Nije potrebno stezanje

STEZANJE 10 - Potrebno je stezanje



OKRETANJE 0 - Nije potrebno okretanje

OKRETANJE 10 - Okrenuto za manje ili jednako 90°

OKRETANJE 20 - Okrenuto za 180° ili manje.

### 2.4.3. Pravila ocjenjivanja

Pravila ocjenjivanja mogu se podijeliti u dvije skupine:

1. Osnovna pravila
2. Posebna pravila za specifične primjene – odnose se na dimenzije, masu i temperaturu dijelova i proizvodne opreme. Ova pravila su određena neovisno i u skladu s okolinom korisnika.

#### 2.4.3.1. Osnovna pravila

Osnovne radnje jesu:

1. Ubacivanje proizvoda smatra se početnom radnjom.
2. Uklanjanje baznog proizvoda smatra se osnovnom radnjom.
3. Kada se uklanja dio u isto vrijeme kada se odvija drugi dio, uklanjanje toga dijela smatra se osnovnom radnjom.
4. Sva ispitivanja, prilagodbe i ostale radnje smatraju se odvojenim osnovnim radnjama.
5. Ako ljepilo ili drugi faktori onemogućavaju rastavljanje dijela, u grafikon ocjenjivanja se unosi naziv proizvoda i smatra se kao osnovna radnja.
6. Ponavljanje jedne radnje na dijelu smatra se kao jedna osnovna operacija.

Značajke su rasklapanja:

1. Za rasklapanje koje uključuje orijentiranje kao dio operacije (uklanjanje opruge, lemljenje) ili za rasklapanje koje ne uključuje orijentaciju (ispiranje ili sušenje), ne provodi se ispitivanje orijentacije gornje površine.
2. Ako postoji više od jednog zadržavanja u jednoj osnovnoj radnji, maksimalno dozvoljeni broj zadržavanja je dva.

Primjerice, stezanje na dva mjesta: stezanje [eng. *Retain*] =  $10 \times 2 = 20$  bodova.

Također, stezanje na tri ili više mjesta se vrjednuje sa  $10 \times 2 = 20$  bodova.

3. Kod kontinuiranog zadržavanja, ocijeniti svaku osnovnu operaciju dok se zadržavanje ne ukloni.
4. Ne ispitivati zadržavanje [*Retain*] na baznim dijelovima ako se pogreška pojavljuje u praktičnoj upotrebi.
5. Ako postoji operacija izvlačenja (eng. *Pull-Out*) ili čupanja (eng. *Snap-Out*), ispituju se značajke rasklapanja dodavajući bodove za odvrtnje, izvlačenje i čupanje. Međutim, ne dodaju se bodovi za male jedinice pakiranja.
6. Kod djelomičnog otpuštanja vijaka, rezultate dobivene putem značajki rasklapanja treba prepoloviti.

Značajke procesa:

1. Kada postoji više od jednog zadržavanja [*Retain*], značajke procesa ispituju se množenjem s dva (uz maksimalno dozvoljeno zadržavanje).

Zadržavanje na dva mjesta: značajke procesa (zadržavanje) [*Retain*]:  $10 \times 2 = 20$  bodova.

Zadržavanje na tri ili više mjesta se također vrjednuje s  $10 \times 2 = 20$  bodova.

2. Kada postoji kontinuirano zadržavanje, procjenjuje se svaka osnovna operacija dok se zadržavanje ne ukloni.

Ostalo:

1. Za dodavanje [eng. *Supply*] proizvoda ispituju se samo značajke dijelova i značajke procesa.
2. Za zadnji uklonjeni dio, ocjenjuju se samo značajke dijelova.
3. Ako se dio treba sušiti dulje od jedne minute, ne bilježi se vrijednost ni za jednu značajku. Za standardne operacije i jednostavnost rasklapanja daje se ocjena nula.
4. Kada je rasklapanje onemogućeno zbog lijepljenja ili drugih faktora, ne bilježi se vrijednost ni za jednu značajku. Za standardne operacije i jednostavnost rasklapanja daje se ocjena nula.
5. Nije potrebno ocjenjivati rezultate za procese koji se ne mogu primijeniti poput ispitivanja i prilagodbe.

#### 2.4.3.2. Posebna pravila

Posebna pravila vezana su uz dimenzije, mase i temperature dijelova u procesu. Tolerancijski rasponi navedenih veličina mogu se postaviti za sve dijelove koji sudjeluju u procesu rasklapanja – Tablica 2.

**Tablica 2. Primjeri postavljenih tolerancija**

Maksimalna dimenzija	$\leq 50$ mm
Minimalna dimenzija	$\geq 2$ mm
Masa	$\leq 1$ kg
Temperatura	$\leq 50^{\circ}\text{C}$

Čak i kada svi dijelovi u proizvodu prelaze zadane tolerancije, ne moraju se prilagođavati pravilima jer se relativni odnosi ne mijenjaju, osim u slučaju kada se uspoređuje s proizvodima druge kategorije.

## Značajke rasklapanja:

1. Ako zadržani dio prelazi ograničenje mase, dodaje se 10 bodova značajkama rasklapanja (stezanje) [*Retain*]. Međutim, bodovi se ne dodaju ukoliko se zadržavanje odvija na gornjoj površini na kojoj je masa nevažna.
2. Ako zadržani dio prelazi temperaturnu granicu, dodaje se 10 bodova značajkama rasklapanja (stezanje) [*Retain*]. Međutim, bodovi se ne dodaju ukoliko se zadržavanje odvija na gornjoj površini na kojoj je temperatura nevažna.

## Značajke dijelova:

1. Ako dio za rasklapanje prelazi granicu maksimalne dimenzije, dodaje se 10 bodova značajkama dijelova.
2. Ako dio za rasklapanje pada ispod granice minimalne dimenzije, dodaje se 10 bodova značajkama dijelova.
3. Ako dio za rasklapanje prelazi granicu mase, dodaje se 10 bodova značajkama dijelova.
4. Ako dio za rasklapanje prelazi temperaturnu granicu, dodaje se 10 bodova značajkama dijelova.
5. Ako dio za rasklapanje prelazi granicu zadanih tolerancija za sve tri navedene veličine (dimenzije, temperature, mase), dodaje se 10 bodova značajkama dijelova.

## Značajke procesa:

1. Ako zadržani dio prelazi granicu mase, dodaje se 10 bodova značajkama procesa. Međutim, bodovi se ne dodaju ukoliko se zadržavanje odvija na gornjoj površini na kojoj je masa nevažna.
2. Ako bazni dio prelazi granicu mase i bit će okrenut tijekom procesa, dodaje se 10 bodova značajkama procesa.
3. Ako zadržani dio prelazi temperaturnu granicu, dodaje se 10 bodova značajkama procesa.

**Tablica 3. Bodovanje kod posebnih pravila za dimenzije, masu i temperaturu**

		Dimenzije	Masa	Temperatura
Značajke rasklapanja	<i>Retain</i>		+ 10 bodova	+ 10 bodova
Značajke dijelova	<i>Remove</i>	+ 10 bodova	+ 10 bodova	+ 10 bodova
	<i>Select</i>	+ 10 bodova	+ 10 bodova	+ 10 bodova
Značajke procesa	<i>Retain</i>		+ 10 bodova	+ 10 bodova
	<i>Turn</i>		+ 10 bodova	

#### 2.4.4. Osnovni proces ocjenjivanja

Procesom osnovnog ocjenjivanja izračunava se lakoća rasklopivosti za svaku osnovnu radnju korištenjem dijagrama rasklopivosti baziranom na ljestvici od 100 bodova i na ukupnom rezultatu. Ovakav način osnovnog ocjenjivanja može se koristiti za uklanjanje temeljnih problema i stvaranje poboljšanja konstrukcije.

**Korak 1** je unošenje simbola prema tablici 4. Slovni simbol označava cilj rasklapanja proizvoda.

Tablica 4. Simboli za ciljeve rasklapanja

CILJ RASKLAPANJA	SIMBOL
Rasklapanje proizvoda za vrijeme njegove proizvodnje kako bi se uklonili neispravni dijelovi	A
Rasklapanje za vrijeme korištenja proizvoda kako bi se uklonili dijelovi koji se mogu servisirati	B
Rasklapanje proizvoda za vrijeme recikliranja kako bi se uklonili otrovni dijelovi	C
Rasklapanje proizvoda za vrijeme recikliranja kako bi se povratili dijelovi koji se mogu ponovno koristiti	D
Rasklapanje dijela za vrijeme recikliranja kako bi se povratile komponente koje se mogu ponovno koristiti	E

\* Napomena: Ako proizvod ima više ciljeva rasklapanja, potrebno ih je unijeti sve.

**Korak 2** je upisati raspon rasklapanja:

- Ako su ciljevi od A do D, unose se dijelovi koji se trebaju ukloniti
- Ako je cilj E, unose se elementi koji trebaju biti odvojeni.

**Korak 3** je unošenje osnovnih radnji.

**Korak 4** je unošenje broja i simbola dijelova za rasklapanje (Slika 7.):

- Ako su ciljevi od A do D, unose se simboli za pričvršćene dijelove kao što su vijci i sigurnosni prsteni te dijelove za uklanjanje.
- Ako su ciljevi od A do D, unose se simboli za pričvršćene dijelove kao što su vijci i sigurnosni prsteni te dijelove za recikliranje.

Pričvršćeni dijelovi



Dijelovi za uklanjanje

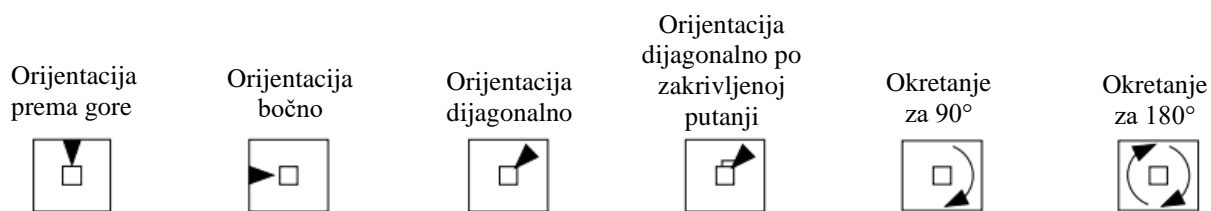


Dijelovi za recikliranje



Slika 7. Simboli dijelova

**Korak 5** je unos simbola koji označavaju smjer rasklapanja i orijentaciju proizvoda (Slika 8.).



**Slika 8. Simboli za orijentaciju**

**Korak 6** je odabir i unos rezultata značajki rasklapanja iz DAC koda rasklopivosti. Istovremeno, odabrane značajke označiti kvačicom. Na isti način označiti kvačicom kada se ocjenjuju značajke dijelova i značajke procesa.

**Korak 7** je odabir i unos rezultata značajke dijelova iz DAC koda rasklopivosti:

- Kada je cilj rasklapanja označen simbolom A, B, C ili D, ocjenjuje se isključivo uklanjanje.
- Kada je cilj rasklapanja označen simbolom E, ocjenjuje se odabir i uklanjanje.

**Korak 8** je odabir i unos rezultata značajke procesa iz DAC koda rasklopivosti.

**Korak 9** je zbrajanje i unos ukupnoga rezultata svih značajki.

Ukupan rezultat svih značajki:

$$f = \text{Značajke Rasklapanja } f1 (1) + \text{Značajke Dijelova } f2 (2) + \text{Značajke procesa } f3 (3). \quad (1)$$

**Korak 10** je izračunavanje i upis rezultata standardnih operacija.

Standardna operacija:

$$o [\text{bodovi}] = \text{ukupan rezultat svih značajki } f \times \text{broj operacija } n. \quad (2)$$

- \* Napomena – ne upisuje se broj operacija ukoliko je u pitanju samo jedna radnja.

**Korak 11** je izračunavanje i unos faktora jednostavnosti rasklapanja.

Faktor jednostavnosti:

$$\mathbf{d} = 100 - \text{ukupan rezultat svih značajki } \mathbf{f}. \quad (3)$$

- \* Napomena – ukoliko je faktor jednostavnosti rasklapanja negativna vrijednost, ta vrijednost se unosi.

**Korak 12** je ispunjavanje stupčastog grafikona u dijagramu rasklopivosti temeljeno na vrijednosti izračunatoj u koraku 11.

- \* Napomena – ako je faktor jednostavnosti negativan broj, prikazuje se kao 0 na dijagramu stupčastog grafikona.

**Korak 13** – nakon popunjavanja dijagrama rasklopivosti, računa se i unosi ukupni rezultat ocjenjivanja u DAC tablicu prikazanu na slici 9.

Prosječni faktor jednostavnosti rasklapanja:

$$\mathbf{D1} = \sum \text{Faktor jednostavnosti } \mathbf{d} / \sum \text{broj osnovnih radnji } \mathbf{n}. \quad (4)$$

Prosječni faktor jednostavnosti rasklapanja:

$$\mathbf{D2} [\%] = \frac{\sum \text{Broj osnovnih operacija s faktorom jednostavnosti preko 70 bodova } \mathbf{n70}}{\sum \text{broj osnovnih radnji } \mathbf{n}}. \quad (5)$$

Ukupna ocjena standardnih radnji:

$$\mathbf{D3} [\text{bodova}] = \sum \text{Rezultat standardnih radnji } \mathbf{o}. \quad (6)$$

Ukupan broj dijelova za rasklapanje:

$$\mathbf{P} = \sum \text{Dijelova za rasklapanje } \mathbf{p}. \quad (7)$$



Sheet # Disassembly Sequence	Basic Operation	pd No. of parts for disas- sembly	Disassem- bly Direction Product Orienta- tion	Step (9)			Step (10)		Step (11)		Step (12)		
				(1) Features of Disassembly Fe/Pi	(2) Features of Parts Or/Re	(3) Features of Processing Re/Tu	f = (1) + (2) + (3) Total Feature Score	o = f × n Standard Operation	d = 100 - f Disassembly-Ease diagram				
											0	50	70
	Supply		▼		0	0	0	0	100	[Grey bar from 0 to 100]			
①	Pull-out	2	□	10	0	0	10	2	20				90
②	Snap-out	2	▼	50	0	0	50	2	100	50	[Dark grey bar from 0 to 50]		
	Unscrew	2	□	30	0	0	30	2	60	70	[Grey bar from 0 to 70]		
③	Remove	1	□	10	0	20	30	30	30	70	[Grey bar from 0 to 70]		
	Retaining ring removal	2	□	20	0	0	20	2	40	80	[Grey bar from 0 to 80]		
④	Remove	2	□		0		0	2	0	100	[Grey bar from 0 to 100]		
⑤	Remove	1	□		0		0		0	100	[Grey bar from 0 to 100]		

Omit entering when no. of operations is 1.

Use a different color on the chart if it is 70 points or more.

Slika 9. Primjer tablice osnovnog ocjenjivanja

### 2.4.5. Interpretacija DAC rezultata

DAC rezultati vrjednuju se na sljedeći način:

- 100 ~ 70 bodova – Jednostavno rasklopivo. Rasklapanje uključuje operacije koje se mogu relativno jednostavno izvesti ručno i robotski.
- ~ 50 bodova – Rasklapanje zahtijeva određene vještine. Konstrukciju proizvoda treba ponovno razmotriti.
- ~ 0 bodova – Ekstremno teška rasklopivosti. Potrebna su hitna poboljšanja proizvoda. [9]

### 3. ANALIZA RASKLOPIVOSTI UREĐAJA ZA RAVNANJE KOSE

U ovom radu primijenjena je DAC metoda za analizu rasklopivosti uređaja za ravnanje kose marke IDEENWELT prikazanog na Slici 10.



**Slika 10. Uređaj za ravnanje kose marke IDEENWELT**

Uređaj je došao do kraja svog vijeka upotrebe, te se shodno tome pojavljuje potreba za njegovim rastavljanjem kako bi se reciklirao.

Gabaritne dimenzije uređaja (bez kabela) jesu:

- 270 mm visina
- 30 mm širina

- 30 mm debljina.

Uređaj se sastoji od:

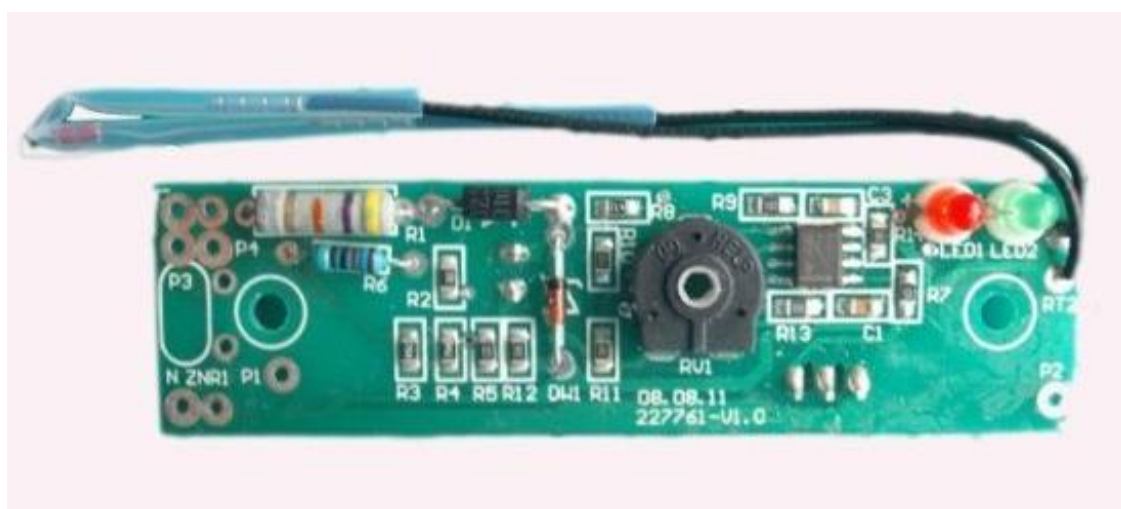
1. Plastičnog kućišta koje je ujedno i bazni dio (Slika 11.)
2. Dvije keramičke ploče povezane žicama (**Pogreška! Izvor reference nije p  
ronađen.12.)**
3. Tiskane pločice na kojoj se nalaze elektroničke komponente (Slika 13.)
4. Šest vijaka, od kojih dva služe za pričvršćivanje tiskane pločice (Slika 14.)
5. Gumba za reguliranje topline (Slika 14.)
6. Kabela s priključkom.



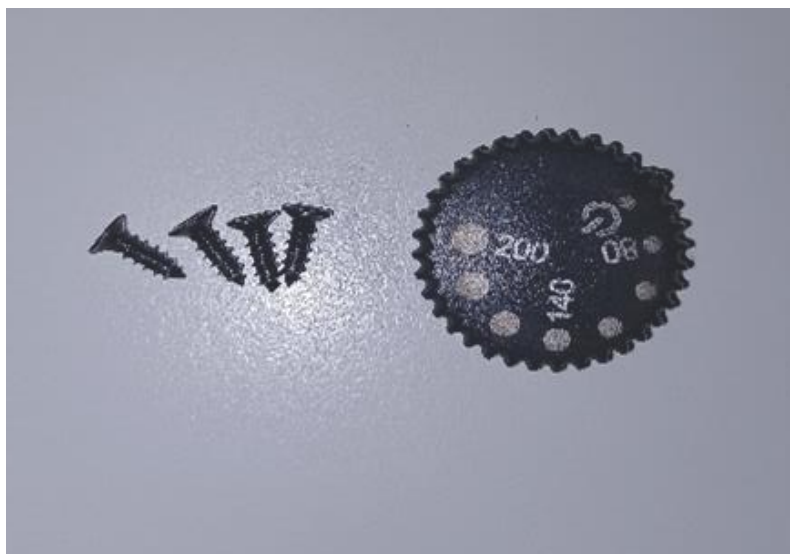
**Slika 11. Plastično kućište**



Slika 12. Keramičke pločice



Slika 13. Tiskana pločica



**Slika 14. Vijci i gumb za regulaciju**

Redoslijed rasklapanja jest:

1. Uklanjanje vijaka
2. Uklanjanje keramičkih pločica
3. Rezanje žica kojima su keramičke pločice spojene za tiskanu pločicu
4. Uklanjanje tiskane pločice
5. Uklanjanje kabla s priključnicom
6. Uklanjanje gumba za reguliranje
7. Plastično kućište.

Budući da se vijci smatraju spojnim elementima, njima se ne dodaje brojčana vrijednost kao dijelovima sklopa. Ostalim dijelovima se dodjeljuje brojčana vrijednost.

### **3.1. Osnovne radnje za rasklapanje uređaja za ravnanje kose**

#### **3.1.1. Značajke rasklapanja**

Osnovni pojmovi značajki rasklapanja su orijentacija (*orientation*), stezanje (*retain*) i rasklapanje (*disassembly*), što znači da ove značajke opisuju jednostavnost kojom dijelovi mogu biti usmjereni, zadržani i usmjereni.

Prilikom rasklapanja uređaj je okrenut prema gore i ocjena značajke orijentacije [*Orientation*] jednaka je 0 bodova – ORIENTATION 0.

Prilikom rasklapanja nije potrebno stezanje, stoga se i značajka stezanja [*Retain*] ocjenjuje sa 0 bodova – RETAIN 0.

Prva radnja značajki rasklapanja je dobava [*Supply*] uređaja za ravnanje kose – SUPPLY.

Sljedeća radnja je odvijanje [*Unscrew*] normalnih vijaka – UNSCREW 20.

Nakon toga slijedi uklanjanje keramičkih pločica koje su spojene preko uskočnog spoja (*Snap-Out*)– SNAP-OUT 10.

Žice kojima su keramičke pločice spojene za tiskanu pločicu treba odrezati (*Cut*) – CUT 10.

Tiskana pločica je na kućište spojena s dva normalna vijka – UNSCREW 20.

Zatim se uklanja gumb za reguliranje topline – REMOVE 20.

Kabel s priključkom također je spojen pomoću normalnog vijka – UNSCREW 20.

### **3.1.2. Značajke procesa**

Ključne riječi za ispitivanje značajki procesa su stezanje [*Retain*] i okretanje [*Turn*].

Proizvod ne treba stezati tijekom rasklapanja – RETAIN 0.

Proizvod je nije potrebno okretati za vrijeme rasklapanja – TURN 0.

### 3.1.3. Značajke dijelova

Osnovni pojmovi koji opisuju značajke dijelova su uklanjanje i odabir.

Značajke dijelova, kao i objašnjenje rezultata vrjednovanja prikazane su u tablici 5.

**Tablica 5. Značajke dijelova**

NAZIV DIJELA	BROJ DIJELA	UKLANJANJE	ODABIR	ZNAČAJKE DIJELOVA	OBJAŠNJENJE REZULTATA
Plastično kućište	1	0	0	0	Nema problema s uklanjanjem i odabirom.
Keramičke pločice	2	0	0	0	Nema problema s uklanjanjem i odabirom.
Tiskana pločica	3	20	0	20	Uklanjanje otežano zbog položaja u kućištu.
Gumb za regulaciju	4	0	0	0	Nema problema s uklanjanjem i odabirom.
Kabel s priključkom	5	20	0	20	Uklanjanje otežano zbog položaja u kućištu.

### 3.2. Osnovni proces vrjednovanja rasklapanja

Prvi korak je određivanje cilja rasklapanja.

**Tablica 6. Cilj rasklapanja uređaja**

Naziv dijela za rasklapanje:	Uređaj za ravnanje kose
Cilj rasklapanja:	Rasklapanje dijela za vrijeme recikliranja kako bi se povratile komponente koje se mogu ponovno koristiti - E

Nakon određivanja cilja rasklapanja i vrijednosti navedenih značajki, potrebno je ispuniti DAC tablicu prikazanu na slici 9.

U tablicu 7. unesene su osnovne operacije, pripadajući broj bodova i na osnovi toga ispunjeni su dijagrami jednostavnosti rasklapanja. Dijagram operacija kojima je dodijeljeni broj bodova iznad 70 prikazan je svjetlijom bojom.

**Tablica 7. DAC tablica**

Osnovne operacije	Br. dijelova	Orijentacija rasklapanja	Značajke rasklapanja Or/Re	Značajke procesa Re/Tu	Značajke dijelova Re/Se	Ukupan rezultat svih značajki f = 1+2+3	Standardna operacija o=fxn		d = 100 – f Dijagram jednostavnosti rasklapanja					
SUPPLY	1		0	0	0	0		0	100					
UNSCREW	1	☐	20	0	0	20		20	80					
SNAP – OUT	2	☐	10	0	0	10	2	20	80					
CUT	2	☐	10	0	0	10		10	90					
UNSCREW	1	☐	20	0	20	40		40	60					
REMOVE	1	☐	10	0	0	10		10	90					
UNSCREW	1	☐	20	0	20	40		40	60					



Nakon ispunjenog dijagrama jednostavnosti rasklapanja, potrebno je izračunati sljedeće vrijednosti koje su opisane u točki 2.4.4:










- Prosječni faktor jednostavnosti rasklapanja (4),  $D1 = 560/7 = 80$
- Prosječni faktor jednostavnosti rasklapanja (5),  $D2 [\%] = 5/7 * 100 = 71,43 \%$
- Ukupna ocjena standardnih radnji (6),  $D3 = 140$
- Ukupan broj dijelova za rasklapanje (7),  $P = 9$ .

Kao što je ranije rečeno, ukoliko se bodovi kreću u rasponu 70 ~ 100 proizvod je jednostavno rasklopiv, što znači da analizirani proizvod s prosječnim brojem bodova od 80 ulazi u tu kategoriju jednostavne rasklopivosti.

### **3.3. Odabir koncepta konstrukcije za rasklapanje proizvoda**

Potrebno je odabrati koncepte koji ukazuju na smjer u kojemu ide konstruiranje za jednostavno rasklapanje. U tablici 8. prikazani su simboli osnovnih koncepata uz pripadajuće objašnjenje značenja. Moguće je odabrati najviše dva koncepta.

**Tablica 8. Osnovni koncepti oblikovanja za rasklapanje**

	Minimalni broj materijala – koncept u kojem je broj materijala sveden na minimum (naprimjer, svi dijelovi su od plastike).
	Uklanjanje u jednom procesu – fokusira se na mogućnost uklanjanje specifičnog dijela bez da se uklanjaju drugi dijelovi osim poklopca (naprimjer, uklanjanje samo baterije)
	Minimalni broj dijelova – koncept kod kojeg je broj potrebnih dijelova sveden na minimum.
	Sklapanje na jednom mjestu – koncept kod kojeg se svi dijelovi sklapaju na istoj lokaciji.
	Identičan proces – fokusira se na uklanjanje više dijelova jednakom metodom rasklapanja.
	Rasklapanje po istoj osi – koncept prema kojem se dio može rasklopiti tako da osnovni dio ne zahtjeva mijenjanje pozicije i rasklapanje može biti izvedeno po istoj osi.
	Jednostavno spajanje – naglasak se stavlja na jednostavno spajanje (odvajanje) dijelova (naprimjer, spajanje vijcima).
	Identično spajanje – cijeli proizvod se može spojiti istom metodom spajanja (naprimjer, spajanje samo vijcima).
	Jednostavni dijelovi – koncept kod kojeg su svi dijelovi proizvoda jednostavni za rukovanje.

Odabrani koncept je rasklapanje po istoj osi.

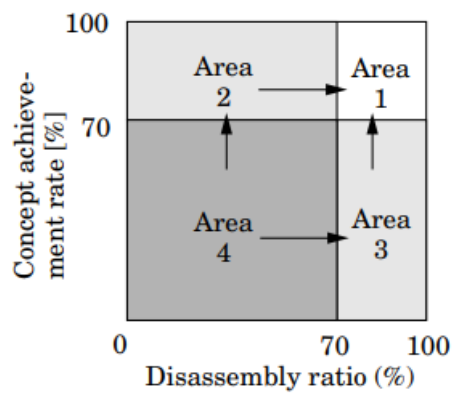
### 3.4. Interpretacija rezultata analize rasklapanja

Iz tablice 7 se vidi da svi dijelovi zadovoljavaju koncept rasklapanja po istoj osi.

Sljedeći korak je izračunavanje uspješnosti koncepta:

$C (\%) = \frac{\sum \text{rezultati standardnih radnji koje zadovoljavaju odabrani koncept}}{\sum \text{rezultati standardnih radnji}} = 100\% (8)$  što znači da se konstrukcija uređaja za ravnanje kose u potpunosti poklapa s odabranim konceptom.

Kada se kombiniraju faktori D2 i C, iz grafa na slici 15. može se zaključiti da se proizvod nalazi u zoni 1 – zoni u kojoj su zadovoljeni jednostavnost i koncept rasklapanja.



Slika 15. Zone koncepata

## 4. ZAKLJUČAK

Jednostavna rasklopivost proizvoda ima brojne prednosti, kako za proizvođače, tako i za korisnike, okoliš i društvo u cijelosti.

Proizvodi koji se jednostavno mogu rasklopiti, obično su jednostavniji za održavanje i popravak, što smanjuje troškove i vrijeme potrebno za popravke te se produžuje životni vijek proizvoda. Time je također smanjen broj dijelova na odlagalištima i u konačnici se smanjuje zagađenje okoliša, a to je osobito važno u svjetlu rastuće zabrinutosti zbog ekološke održivosti i iscrpljivanja prirodnih resursa.

Metode kojima se proizvod oblikuje za rasklapanje važno je primijeniti u što ranijim fazama razvoja proizvoda kako bi one bile što učinkovitije.

U radu je objašnjeno nekoliko takvih metoda, a poseban naglasak stavljen je na Sonyjevu metodu za analizu rasklopivosti, koja je primijenjena za analizu rasklapanja uređaja za ravnjanje kose.

Proizvod je vrjednovan preko tri značajke: značajke rasklapanja, značajke dijelova i značajke rasklapanja. Iz rezultata vrjednovanja dobiju se tri parametra:

- prosječni faktor jednostavnosti rasklapanja D1
- faktor jednostavnosti rasklapanja D2 (%) i
- ukupna ocjena standardnih radnji D3.

Prosječni faktor jednostavnosti rasklapanja D1 bodovan je s 80 od mogućih 100 bodova, što znači da je proizvod jednostavno rasklopiv, da su operacije rasklapanja jednostavne i mogu se izvoditi ručno i automatski.

Proizvod je uglavnom spojen normalnim vijcima, uz izuzetak keramičkih pločica koje su spojene uskočnim spojem. Također, uređaj je sastavljen od malog broja dijelova kojima se lako rukuje zbog relativno malih dimenzija i mase. Sve navedeno olakšava rasklopivost uređaja.

U daljnjem radu bilo bi zanimljivo napraviti analizu proizvoda prema DFR (eng. *Design for Recycling*) metodi te provjeriti koliko je proizvod pogodan za recikliranje.

## 5. LITERATURA

[1] Waste from Electrical and Electronic Equipment (WEEE)

Dostupno na: [https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/waste-electrical-and-electronic-equipment-weee\\_en](https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/waste-electrical-and-electronic-equipment-weee_en) Pristupljeno: 2023-08-23.

[2] EE otpad

Dostupno na: <https://ee-otpad.com/vrsteeootpada.php> Pristupljeno: 2023-08-23

[3] Zbrinjavanje EE otpada

Dostupno na: <https://eeotpad.wordpress.com/ee-otpad/elektronicki-otpad-opasan-otpad/> Pristupljeno: 2023-08-24

[4] Design for Recycling

Dostupno na: <https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/design-for-recycling> Pristupljeno: 2023-08-24

[5] Z. Kunica – Zavarivanje i Montaža, FSB, predavanja, ak. god. 2021./2022., Zagreb

[6] Design for Disassembly for Remanufacturing: Methodology and Technology

Dostupno na:

[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827114004764/pdf?crasolve=1&r=7fff45e07f39248c&ts=1693589760103&rtype=https&vrr=UKN&redir=UKN&redir\\_fr=UKN&redir\\_arc=UKN&vhash=UKN&host=d3d3LnNjaWVuY2VkaXJlY3QuY29t&tsoh=d3d3LnNjaWVuY2VkaXJlY3QuY29t&r](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827114004764/pdf?crasolve=1&r=7fff45e07f39248c&ts=1693589760103&rtype=https&vrr=UKN&redir=UKN&redir_fr=UKN&redir_arc=UKN&vhash=UKN&host=d3d3LnNjaWVuY2VkaXJlY3QuY29t&tsoh=d3d3LnNjaWVuY2VkaXJlY3QuY29t&r) Pristupljeno: 2023-08-24

[7] Pushing the Boundaries of Sustainable PC Design: Concept Luna

Dostupno na: <https://www.dell.com/en-us/blog/pushing-the-boundaries-of-sustainable-pc-design-concept-luna/> Pristupljeno: 2023-08-24

[8] <https://www.techzine.eu/news/devices/97321/dells-concept-luna-laptop-can-be-disassembled-without-a-screwdriver/> Pristupljeno: 2023-09-01

[9] SONY DAC Assembly Evaluation/Design Manual, 1996.