

# Demontaža mobilnog telefona

---

Perić, Matej

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:235:082717>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-25**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

**Matej Perić**

Zagreb, 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr.sc. Zoran Kunica

Student:

Matej Perić

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: **Matej Perić** JMBAG: **0035221607**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Demontaža mobilnog telefona**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Disassembly of a mobile phone**

Opis zadatka:

Mobilni telefoni masovno su korišten proizvod, i na kraju svog životnog vijeka zahtijevaju odgovarajuće zbrinjavanje, pri čemu je od posebnog značaja njihova demontaža. Iz toga, a u svrhu reciklaže dotrajalih mobilnih telefona, proistječe i važnost kvalitetne procjene njihove rasklopivosti.

U radu je potrebno:

1. objasniti važnost demontaže dotrajalih mobilnih telefona
2. istražiti i opisati postupanja s dotrajalim mobilnim telefonima
3. procijeniti rasklopivost odabranog mobilnog telefona Sonyjevom metodom.

Zadatak zadan:

30. 11. 2022.

Zadatak zadao:

Prof. dr.sc. Zóran Kunica

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.

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Branko Bauer

## **IZJAVA**

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

Zahvaljujem mentoru, prof.dr.sc Zoranu Kunici na razumijevanju i odvojenom vremenu tijekom izrade ovog rada.

Velika hvala obitelji i prijateljima na razumijevanju i podršci tijekom preddiplomskog studija.

U Zagrebu, 23. veljače 2023.

Matej Perić

## **SAŽETAK**

U ovom radu razmotrena je važnost recikliranja mobilnih uređaja. Opisan je postupak reciklaže mobilnih uređaja s naglaskom na njihovu demontažu. Opisana je metoda DAC za analizu rasklopivosti proizvoda. Rezultat analize su parametri rasklopivosti koji opisuju lakoću rasklapanja pojedinih komponenti proizvoda. Metoda DAC je provedena za procjenu rasklopivosti odabranog mobilnog telefona. Analiza je pokazala da su osnovni sklopovi i dijelovi mobilnog telefona lako rastavljivi te da je rasklapanje uređaja moguće automatizirati.

Ključne riječi: mobilni telefon, reciklaža, rasklopivost, procjena, DAC

## **SUMMARY**

This work considers the importance of mobile telephone recycling. The process of recycling of mobile phones is described, with an emphasis on their disassembly. DAC method for product disassembly evaluation is depicted. The result of the evaluation is a set of disassembly parameters that describe the ease of disassembly of individual components of a product. The DAC method was conducted to evaluate the disassemblability of the selected mobile phone. The analysis showed that the basic assemblies and parts of the mobile phone are easily disassembled and that the disassembly of the device can be automated.

Key words: mobile telephone, recycling, disassemblability, evaluation, DAC

## SADRŽAJ

|  |           |
|--|-----------|
| ZADATAK.....   | I         |
| IZJAVA.....  | II        |
| SAŽETAK.....   | III       |
| SUMMARY .....  | IV        |
| POPIS KRATICA, OZNAKA I MJERNIH JEDINICA FIZIKALNIH VELIČINA ..... | VII       |
| POPIS SLIKA .....  | IX        |
| POPIS TABLICA.....   | X         |
| <b>1. UVOD.....</b>  | <b>1</b>  |
| <b>2. MATERIJALI KORIŠTENI ZA IZRADU MOBITELA.....</b>             | <b>3</b>  |
| <b>2.1. Polimeri.....</b>  | <b>4</b>  |
| <b>2.2. Metali.....</b>  | <b>5</b>  |
| <b>2.3. Staklo i keramika .....</b>                                | <b>5</b>  |
| <b>3. POSTUPANJA S DOTRAJALIM MOBILNIM UREĐAJIMA.....</b>          | <b>7</b>  |
| <b>3.1. Komponente mobilnog uređaja .....</b>                      | <b>8</b>  |
| 3.1.1. Kućište.....  | 8         |
| 3.1.2. Baterija .....  | 9         |
| 3.1.3. Zaslona .....   | 9         |
| 3.1.4. Matična ploča .....   | 10        |
| 3.1.5. Fotoaparata.....  | 11        |
| <b>3.2. Postupak reciklaže mobilnih uređaja.....</b>               | <b>12</b> |
| 3.2.1. Reciklaža baterije mobilnog uređaja .....                   | 12        |
| 3.2.2. Reciklaža matične ploče mobilnog uređaja.....               | 14        |
| <b>4. SONYJEVA METODA ANALIZE RASKLOPIVOSTI PROIZVODA.....</b>     | <b>15</b> |
| <b>4.1. Razlozi rasklapanja.....</b>                               | <b>15</b> |
| <b>4.2. Osnovne operacije rasklapanja.....</b>                     | <b>16</b> |



---

|   |           |
|---|-----------|
| <b>4.3. Kriteriji ocjenjivanja .....</b>  | <b>17</b> |
| <b>4.4. Pravila ocjenjivanja .....</b>  | <b>19</b> |
| <b>4.5. Osnovni proces ocjenjivanja .....</b>                                       | <b>20</b> |
| <b>5. PROCJENA RASKLOPIVOSTI MOBILNOG UREĐAJA .....</b>                             | <b>27</b> |
| <b>5.1. Osnovne radnje za rasklapanje mobilnog uređaja .....</b>                    | <b>28</b> |
| 5.1.1. Značajke rasklapanja mobilnog uređaja .....                                  | 28        |
| 5.1.2. Značajke dijelova mobilnog uređaja .....                                     | 29        |
| 5.1.3. Značajke procesa mobilnog uređaja .....                                      | 30        |
| <b>5.2. Osnovni proces ocjenjivanja mobilnog uređaja .....</b>                      | <b>30</b> |
| 5.2.1. Tumačenje rezultata ocjenjivanja osnovnog ocjenjivanja za mobilni uređaj ... | 32        |
| <b>5.3. Ocjenjivanje koncepta konstrukcije za rasklapanje proizvoda .....</b>       | <b>33</b> |
| 5.3.1. Poboljšanje vremena rasklapanja .....  | 35        |
| 5.3.2. Distribucijski dijagrami .....   | 36        |
| <b>6. ZAKLJUČAK .....</b>   | <b>37</b> |
| <b>7. LITERATURA .....</b>  | <b>39</b> |

## POPIS KRATICA, OZNAKA I MJERNIH JEDINICA FIZIKALNIH VELIČINA

| Oznaka | Mjerna jedinica | Značenje/Opis  |
|--------|-----------------|--|
| ABS    |                 | Akrotinil Butadien Stiren  |
| AMOLED |                 | eng. <i>Active-Matrix Organic Light-Emitting Diode</i>                                 |
| CPU    |                 | eng. <i>Central Processing Unit</i> – središnja jedinica za obradu                     |
| $d$    |                 | faktor rasklopivosti   |
| D1     |                 | prosječan faktor rasklopivosti   |
| D2     | %               | faktor rasklopivosti   |
| D3     |                 | ukupan rezultat standardnih radnji   |
| DAC    |                 | eng. <i>Design Analysis Control</i> – upravljanje analizom oblikovanja                 |
| DOE    |                 | eng. <i>US Department of Energy</i> – Odjel za energetiku Sjedinjenih Američkih država |
| eng.   |                 | engleski   |
| $f$    |                 | ukupan zbroj vrijednosti značajki  |
| f1     |                 | značajke rasklapanja   |
| f2     |                 | značajke dijelova  |
| f3     |                 | značajke procesa   |
| GPRS   |                 | eng. <i>General Packet Radio Service</i>   |
| GPS    |                 | eng. <i>Global Positioning System</i> – globalni položajni sustav                      |
| IPS    |                 | eng. <i>in-plane switching</i>   |
| $n$    |                 | broj osnovnih radnji   |

---

|           |    |   |
|-----------|----|---|
| NFC       |    | eng. <i>Near Field Communication</i>  |
| <i>o</i>  |    | rezultat standardnih radnji   |
| <i>oc</i> |    | rezultat standardnih radnji čije osnovne radnje postižu konceptne kriterije |
| <i>P</i>  |    | ukupan broj dijelova  |
| PVC       |    | poli(vinil-klorid)  |
| PC        |    | polikarbonat  |
| AM        |    | eng. <i>Random Access Memory</i> – memorija s nasumičnim pristupom          |
| RoHS      |    | eng. <i>Restriction of Hazardous Substances</i> – Ograničenje opasnih tvari |
| ROM       |    | eng. <i>Read Only Memory</i>  |
| <i>t</i>  | s  | vrijeme   |
| $\theta$  | °C | temperatura   |

## POPIS SLIKA

|   |    |
|---|----|
| Slika 1. Broj korisnika pametnih telefona [2] .....                             | 2  |
| Slika 2. Materijali od kojih se sastoji mobilni uređaj i njihov udio [3].....   | 3  |
| Slika 3. Polikarbonatna zaštitna maska za mobitel .....                         | 4  |
| Slika 4. Kućište mobilnog uređaja [10].....                                     | 8  |
| Slika 5. Baterija mobilnog uređaja [10] .....                                   | 9  |
| Slika 6. Zasloni IPS i AMOLED [12] .....  | 10 |
| Slika 7. Matična ploča [10] .....   | 11 |
| Slika 8. Fotoapararat mobitela [10] .....                                       | 11 |
| Slika 9. Materijalna struktura litij-ionske baterije [13] .....                 | 13 |
| Slika 10. Metoda DAC [14] .....   | 15 |
| Slika 11. Rasklapanje u fazama životnog vijeka proizvoda[14] .....              | 16 |
| Slika 12. Dijagram toka otpuštanja vijka nosača [14].....                       | 17 |
| Slika 13. Kriteriji ocjenjivanja [14].....                                      | 18 |
| Slika 14. Simboli dijelova za demontažu [14] .....                              | 21 |
| Slika 15. Simbol osi po kojoj se vrši demontaža [14].....                       | 22 |
| Slika 16. Označavanje vrednovanih značajki [14] .....                           | 23 |
| Slika 17. Motor s reduktorom i komponente koje će se rasklapati [14].....       | 25 |
| Slika 18. Primjer osnovnog ocjenjivanja demontaže motora s reduktorom [14]..... | 26 |
| Slika 19. Samsung Galaxy A12 [16].....  | 27 |
| Slika 20. Dijagram rasklopivosti mobilnog telefona.....                         | 33 |
| Slika 21. Distribucijski dijagrami za mobilni telefon [15].....                 | 36 |

## POPIS TABLICA

|   |    |
|---|----|
| Tablica 1. Tablica ocjenjivanja značajki dijelova .....                         | 29 |
| Tablica 2. Prvi koraci analize DAC za mobilni telefon .....                     | 30 |
| Tablica 3. Tablica DAC: osnovno ocjenjivanje za mobilni uređaj .....            | 31 |
| Tablica 4. Rezultati ocjenjivanja osnovnog ocjenjivanja za mobilni uređaj ..... | 31 |
| Tablica 5. Rasklopivost izražena u bodovima [15] .....                          | 32 |
| Tablica 6. Osnovni koncepti konstrukcija za rasklapanje [15] .....              | 34 |
| Tablica 7. Postotak postignuća kriterija koncepta.....                          | 35 |

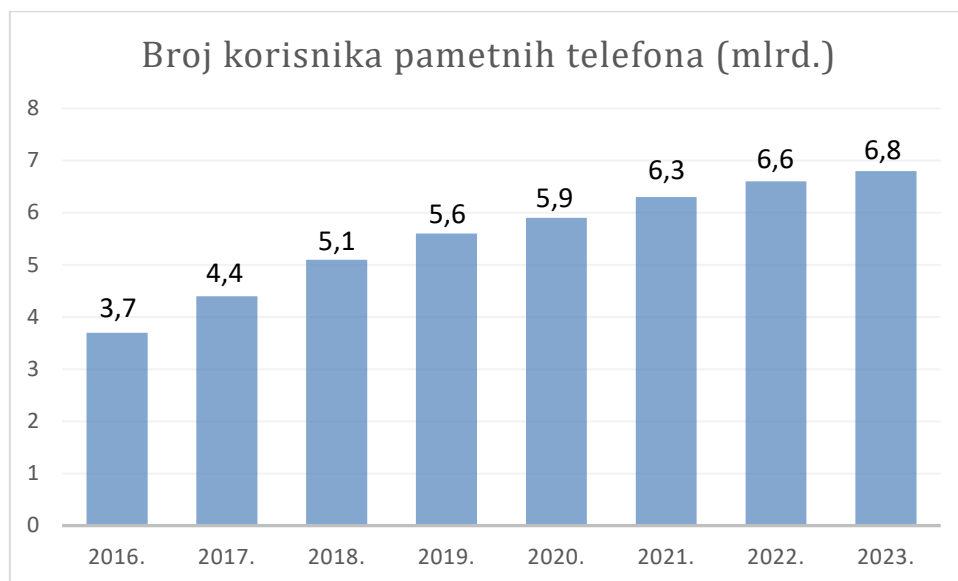
## 1. UVOD

Mobilni uređaji su potpuno promijenili način na koji ljudi žive, komuniciraju i rade. Pojavom pametnih telefona, u samo nekoliko godina, uređaj koji je isprva bio luksuz pretvorio se u osnovni alat bez kojeg vrlo velik broj ljudi više ne može funkcionirati.

S razvojem tehnologije i sve raširenijom upotrebom pametnih telefona stvara se ogromna količina elektroničkog otpada, tzv. e-otpada. Procjenjuje se da se u Hrvatskoj godišnje baci od 30 do 45 tisuća tona elektroničkog otpada (kućanski aparati, TV uređaji, računala, mobiteli i slično). Prosječno svaki stanovnik Hrvatske godišnje baci između 6,67 i 10,11 kg elektroničkog otpada, a ta količina se stalno povećava, prosječno 10 % godišnje. [1]

S brzim napretkom tehnologije životni vijek pametnih telefona postaje sve kraći. Većina korisnika pametni telefon zadrži kraće od dvije godine, a tako kratak životni vijek uređaja dovodi do veće potrebe za pravilnim odlaganjem i recikliranjem.

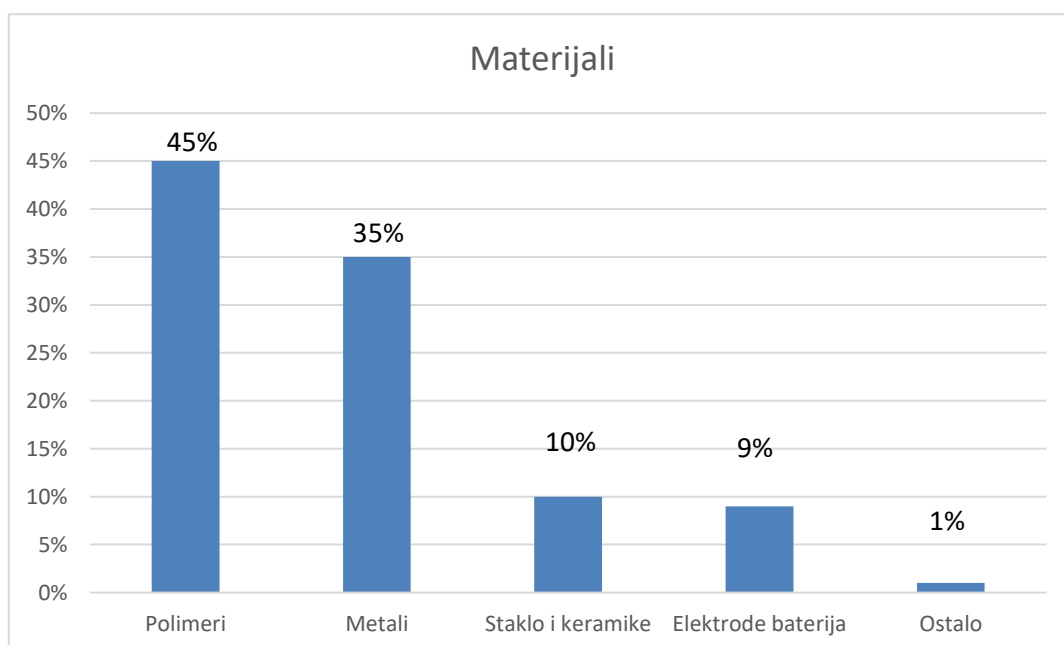
Broj korisnika pametnih telefona iznosi čak 6,8 milijardi, što je 85 % ukupne svjetske populacije (Slika 1.). Usporedbe radi, broj novih korisnika pametnih telefona u 2022. iznosi 200 milijuna, a procjenjuje se da je istovremeno proizvedeno preko 1,5 milijardi novih uređaja.



Slika 1. Broj korisnika pametnih telefona [2]

## 2. MATERIJALI KORIŠTENI ZA IZRADU MOBITELA

Materijali koji se koriste za izradu mobilnih uređaja razvijali su se vremenom. Prvotno su se mobiteli izrađivali od isključivo od plastike i metala, što je bilo dovoljno za njihovu funkcionalnost, ali ne i dovoljno izdržljivo. Sve većom upotrebom mobitela, rasla je i potreba za otpornijim i izdržljivijim materijalima. Stoga su se u njihovoj izradi pojavili novi materijali poput stakla i keramike. Ovi novi materijali omogućili su veću izdržljivost i otpornost na udarce, što je produžilo životni vijek uređaja. U skladu s time, razvoj korištenih materijala i dalje se nastavlja kako bi se stvorili još izdržljiviji mobiteli koji su laki, otporni na udarce, a zajedno s tim dugotrajniji te još privlačniji korisnicima. Slika 2. prikazuje udio materijala korištenih za izradu mobitela.



Slika 2. Materijali od kojih se sastoji mobilni uređaj i njihov udio [3]



## 2.1. Polimeri

Polimeri su nezaobilazan materijal u modernom svijetu i imaju ključnu ulogu u proizvodnji različitih proizvoda, uključujući i mobitele. Vrlo ih je lako modificirati i nude mnoge prednosti, uključujući visoku čvrstoću, otpornost na udarce, fleksibilnost i prozirnost.

Akrotinil butadien stiren (ABS, eng. *Acrylonitrile Butadiene Styrene*) jedan je od najčešće korištenih polimera u proizvodnji mobitela. ABS je često korišten za proizvodnju kućišta mobitela, gumba i drugih vanjskih komponenti. Ovaj polimer je izdržljiv, lagan i otporan na udarce, što ga čini idealnim za upotrebu u ovom sektoru. ABS plastika je termostabilna i otporna na abraziju, što joj omogućuje da zadrži svoju funkcionalnost i u najtežim uvjetima. Osim toga, ABS plastika laka je za obradu te se vrlo lako prilagođava u željene oblike.

Polikarbonat (PC) još je jedan polimer koji se koristi u proizvodnji mobitela. Polikarbonati su grupa termoplastičnih polimera koji se primjenjuju u industriji snažnih i žilavih materijala. Polikarbonat je bezbojan, ima izuzetan površinski sjaj i dobra mehanička svojstva. Zadržava mehanička svojstva sve do 120°C. Što se tiče nedostataka polikarbonata, on slabo provodi toplinu, a to dovodi do usporavanja rada komponenti uređaja. [4 i 5]

Ovaj polimer prikladan je za izradu kućišta modela prosječnog i nižeg ranga cijene. Polikarbonat ojačan staklenim vlaknima koristi se za izradu modela cjenovno najvišeg ranga, ponekad se za njihovu izradu koristi i mješavina PVC-a (polivinil klorid) i ABS-a. [5]

Polikarbonat je također najčešće korištena vrsta plastike za izradu zaštitnih maski za mobitel, čiji je primjer prikazan na slici 3.



**Slika 3. Polikarbonatna zaštitna maska za mobitel**

## 2.2. Metali

Odmah nakon plastike, metali imaju najveći udio u proizvodnji mobilnih uređaja. U izradi mobitela, koriste se razni metali među kojima su najčešće aluminijске legure, popularne zbog male težine, izdržljivosti i otpornosti na koroziju. Baterije u mobilnim telefonima obično se proizvode kombinacijom ugljičnog grafita i litij-kobalt oksida. Ovi materijali su odabrani zbog svoje visoke gustoće energije, što omogućuje kompaktnu i laganu bateriju koja još uvijek može pružiti dovoljno energije za rad telefona.

Kako bi se osigurala učinkovita i pouzdana komunikacija, telefonsko ožičenje obično je izrađeno od visokokvalitetnih materijala uključujući zlato, bakar i srebro. Električna energija provodi se kroz žice pomoću volframa i platine, koji su poznati po svojoj visokoj električnoj vodljivosti i otpornosti na koroziju.

Mobilni telefoni sadrže i rijetke metale kao što su neodim-željezo-bor amalgami, disprozij i prazeodim. Ovi metali igraju važnu ulogu u raznim aspektima uređaja te se često koriste za stvaranje jakih, trajnih magneta koji pokreću zvučnike, mikrofone i motore u mobilnom uređaju. [6]

Udio nekih metala, među kojima se najviše ističu olovo i krom, značajno je smanjen u posljednjim generacijama mobilnih telefona sukladno s Direktivom RoHS (*Restriction of Hazardous Substances*), koja ograničava upotrebu opasnih tvari u elektroničkoj opremi. Dizajn mobilnih uređaja je promijenjen, što je dovelo do smanjenja veličine i težine uređaja te upotrebe konstrukcijskih materijala. [7]

## 2.3. Staklo i keramika

U elektroničkoj industriji keramika je visoko cijenjena zbog raznih svojstava, uključujući izolaciju, supravodljivost, magnetska svojstva i najvažnije – poluvodljivost, svojstvo bez kojeg bi današnja tehnologija bila nezamisliva. Rezultat svega toga je široki spektar upotrebe keramike u proizvodnji elektroničkih komponenti. Konkretno, keramiku koristimo za izradu filtera, rezonatora i višenamjenskih bežičnih modula. Antena mobilnih uređaja koja je neophodna za prijem signala i prijenos glasa izrađena je od keramičkog materijala. Keramičke antene također se koriste i za sustave Bluetooth i GPS (eng. *Global Positioning System*). [8]

Staklo je neophodno za izradu zaslona mobilnog uređaja. Ovo staklo se obično sastoji od mješavine aluminijevog oksida i silicijevog dioksida, uz dodatak vrlo tankog sloja indij-kositrenog oksida. Ultratanki sloj indij-kositar oksida omogućuje funkciju dodira bez oštećenja zaslona. Ova komponenta je za korisnika primaran način interakcije s uređajem te stoga proizvođači ulažu značajna sredstva za njeno usavršavanje.

### 3. POSTUPANJA S DOTRAJALIM MOBILNIM UREĐAJIMA

Recikliranje mobilnih uređaja nosi brojne prednosti. Procjenjuje se da se godišnje reciklira manje od 20 % bačenih mobitela, a da čak 75 % korisnika dotrajali uređaj ne baci nego zadrži (ostavi kod kuće gdje skuplja prašinu). Mobilni uređaji sadrže vrijedne materijale kao što su zlato, srebro, platina i bakar. Zlato je najvrijedniji materijal koji se uglavnom nalazi u sklopu elektroničkih komponenti mobitela, poput mikročipova i tiskanih pločica (engl. *circuit boards*). Ove komponente sadrže vrlo male količine zlata, ali s obzirom na veliku količinu mobitela koji se proizvode i bacaju svake godine, količina zlata koja se može reciklirati iz tih mobitela je značajna. Punjači sadrže bakar koji je manje vrijedan, ali se može ponovo koristiti.

Recikliranjem milijun mobitela čuvaju se prirodni resursi i smanjuju emisije stakleničkih plinova u količini koja je jednaka uklanjanju 1368 automobila s cesta tijekom godine. [9]

Reciklažom jednog mobitela mogu se povratiti svi metali potrebni za proizvodnju novog. Zlato, bakar i platina ograničeni su resursi koji će biti iscrpljeni u narednim desetljećima zbog trenutne stope ekstrakcije. Recikliranje mobitela nudi održiv način očuvanja ovih ograničenih prirodnih resursa i zaštite okoliša. [9]

Reciklaža mobilnog uređaja složen je proces koji započinje rastavljanjem uređaja na osnovne komponente. Rastavljanje mobilnog uređaja zahtijeva kvalificiranu radnu snagu i specijaliziranu opremu kako bi se osiguralo sigurno i učinkovito rukovanje opasnim materijalima.

### 3.1. Komponente mobilnog uređaja

Moderni mobilni uređaji sastoje se od više različitih komponenti, uključujući kućište, zaslon, bateriju, matičnu ploču i fotoaparat. Svaka od ovih komponenata ima važnu ulogu u funkcioniranju uređaja. Za sigurno i učinkovito rastavljanje ili recikliranje mobilnih uređaja važno je jasno razumjeti različite komponente koje čine ovaj uređaj. Ovo znanje omogućuje odvajanje opasnih i neopasnih materijala, što pomaže u sprječavanju onečišćenja okoliša i promicanju održivih praksi recikliranja.

#### 3.1.1. Kućište

Kućište mobilnog uređaja bitna je komponenta čija je osnovna funkcija zaštita internih komponenti uređaja od oštećenja, a uz to mora i pružati ugodan osjećaj držanja u ruci za korisnika. Dizajn kućišta ključan je u određivanju estetske privlačnosti uređaja. Proizvođači ulažu značajno vrijeme i resurse u dizajniranje kućišta koja su vizualno privlačna i usklađena s aktualnim modnim trendovima. Kućište u sebi može sadržavati i neke dodatne funkcije poput vodootpornosti ili mogućnosti bežičnog punjenja. Kućišta su najčešće označena i logotipom proizvođača te služe za promicanje prepoznatljivosti marke uređaja što može biti posebno važno za tvrtke koje se žele istaknuti na pretrpanom tržištu. Primjer jednog takvog kućišta može se vidjeti na slici 4.



Slika 4. Kućište mobilnog uređaja [10]

### 3.1.2. Baterija

Baterije (Slika 5.) su bitna komponenta modernih mobilnih uređaja budući da osiguravaju energiju potrebnu za njihov rad. Obično su baterije koje se koriste u mobilnim uređajima punjive litij-ionske baterije koje se sastoje od nekoliko različitih komponenti.

Jedna od ključnih komponenti je anoda, koja je negativna elektroda. U baterijama mobilnih uređaja anoda je obično izrađena od grafita, koji je oblik ugljika. Grafit je idealan materijal za anode jer može pohraniti veliku količinu litijevih iona koji se koriste za stvaranje električne struje potrebne za napajanje telefona.

Druga ključna komponenta litij-ionske baterije je katoda, koja je pozitivna elektroda. U baterijama mobilnih telefona katoda je obično izrađena od kombinacije litija i kobalt oksida. Ova kombinacija materijala omogućuje učinkovit prijenos elektrona između anode i katode čime se stvara električna struja potrebna za napajanje telefona.

Osim anode i katode, litij-ionske baterije također sadrže i separator, koji sprječava da dvije elektrode dođu u međusobni kontakt, te elektrolit, koji omogućuje protok litijevih iona između dviju elektroda. [11]

Zaključno, kombinacija ugljičnog grafita i litij-kobalt oksida u baterijama mobilnih telefona omogućuje učinkovitu i pouzdanu proizvodnju energije, što je bitno za besprijekoran rad ovih uređaja. [10]



Slika 5. Baterija mobilnog uređaja [10]

### 3.1.3. Zaslون

Zaslون mobitela korisnicima omogućuje korisnicima interakciju s uređajem. To je uređaj koji prikazuje vizualne informacije i omogućuje upotrebu različitih aplikacija. U osnovi, zaslون

mobalnog uređaja sastoji se od milijuna sitnih piksela koji omogućuju prikazivanje slike. Najčešće korišteni zasloni su AMOLED (eng. *Active-Matrix Organic Light-Emitting Diode*) i IPS (eng. *In-Plane Switching*) (Slika 6.).

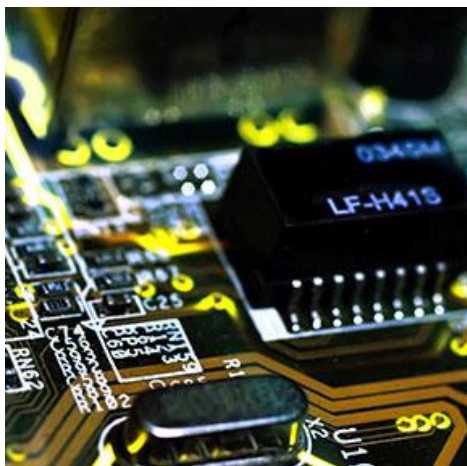
Zasloni AMOLED sadrže tanke panele s dobrim bojama i izvrsnim kontrastom. Zaslonski IPS jeftiniji je za proizvodnju, ali budući da je deblji ima mnogo veću potrošnju baterije. Zaslonski IPS idealni su za igranje igara, kao i za kreativan rad zbog svojih dobrih boja, vremena odziva i kutova gledanja. [11]



Slika 6. Zaslonski IPS i AMOLED [12]

#### 3.1.4. Matična ploča

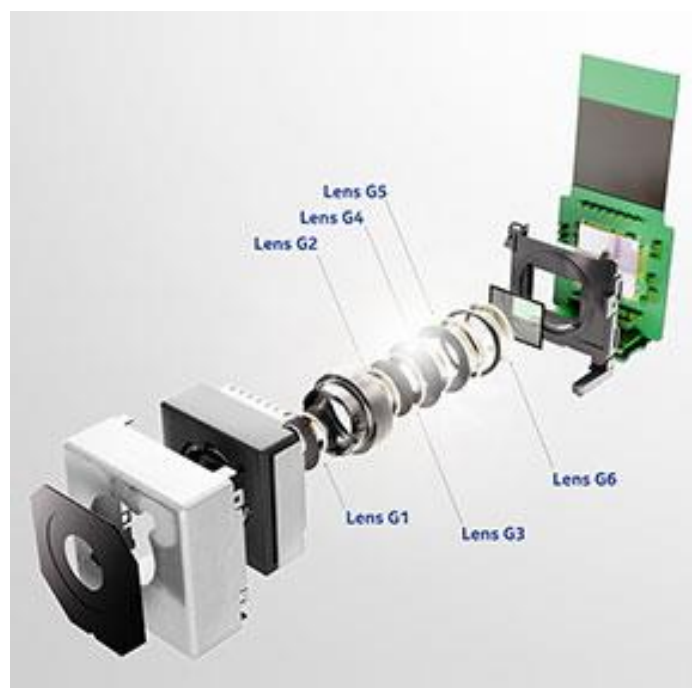
Matična ploča (Slika 7.) je tiskana pločica koja ima najznačajniju ulogu kada je rad sustava u pitanju. To je složena elektronička pločica koja povezuje i omogućuje komunikaciju između različitih bitnih elektroničkih komponenti uređaja, uključujući CPU (eng. *Central Processing Unit*), ROM (eng. *Read Only Memory*), RAM (eng. *Random Access Memory*), WIFI, NFC (eng. *Near Field Communication*), osnovni frekvencijski pojas (eng. *Baseband*), GPRS (eng. *General Packet Radio Service*), antenu i druge. [10]



Slika 7. Matična ploča [10]

### 3.1.5. Fotoapararat

Većina mobilnih uređaja ima prednju i stražnju kameru koja može snimati slike i videozapise. Na performanse fotoaparata utječe nekoliko čimbenika, uključujući vrstu fokusa objektiva (fiksni ili automatski fokus) i rezoluciju. Kako je tehnologija fotoaparata (Slika 8.) napredovala, dizajn leća se također poboljšao, prelazeći s osnovnog Gaussovog ili trostrukog Cookeovog kristala na složene lijevane plastične asferične elemente leće koji uključuju različite indekse disperzije i loma. [10]



Slika 8. Fotoapararat mobitela [10]



## 3.2. Postupak reciklaže mobilnih uređaja

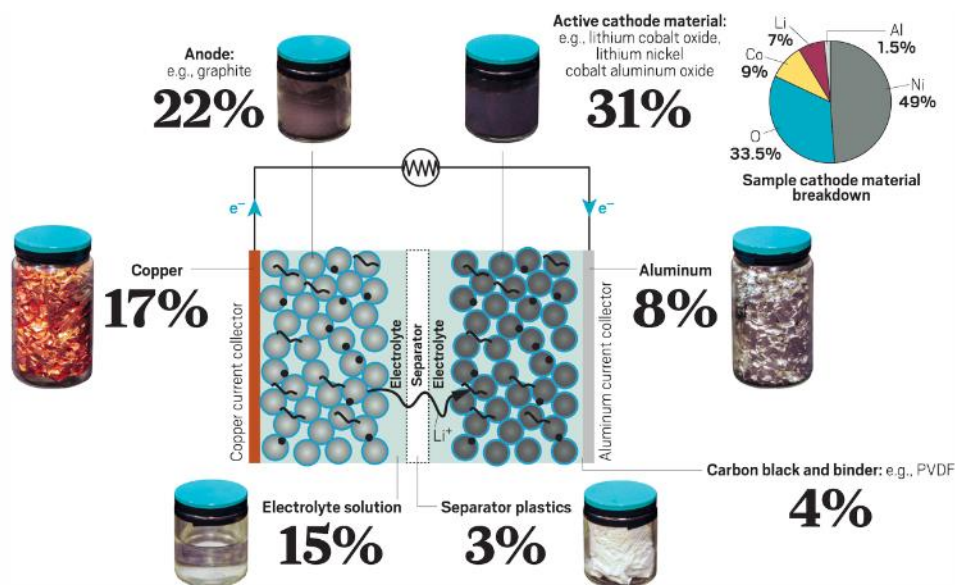
Mobilni uređaji koji kao i većina elektroničkih proizvoda spadaju u red opasnog otpada te zahtijevaju poseban proces zbrinjavanja. Recikliranje mobitela je proces koji uključuje rastavljanje i odvajanje elektroničkih komponenti od rabljenog uređaja. Izdvojeni dijelovi zatim se ponovo koriste u drugim proizvodima, a plemeniti metali se tope i recikliraju u nove proizvode.

Demontaža (rasklapanje) mobilnih uređaja bitan je korak u procesu recikliranja mobilnih uređaja. Kada se uređaj rastavlja, njegove različite komponente se odvajaju i razvrstavaju u različite kategorije na temelju materijala od kojih su sastavljeni. Obnavljanje tih materijala smanjuje se količina elektroničkog otpada i pomaže očuvanje prirodnih resursa. Proces demontaže uključuje pažljivo rastavljanje uređaja kako bi se osiguralo da nijedna komponenta nije oštećena. To zahtijeva specijalizirano znanje i opremu, kao i razumijevanje konstrukcije mobitela i materijala koje sadrži. Nakon što je uređaj rastavljen, različite komponente mogu se razvrstati u različite kategorije na temelju sastava materijala. Komponente mobilnog uređaja poput baterije, matične ploče i zaslona sadrže razne vrste metala koji se mogu oporaviti i koristiti za izradu novih mobilnih uređaja i drugih elektroničkih komponenti.

### 3.2.1. Reciklaža baterije mobilnog uređaja

Popis razloga zbog kojih je reciklaža baterija potrebna i korisna vrlo je dugačak. Materijali korišteni za izradu baterije čine više od polovice ukupnog troška proizvodnje baterije. [13]

Najskuplje komponente baterije su dva uobičajena katodna materijala, kobalt i nikal, a njihova cijena konstantno raste. Oporavljanje tih materijala iz korištenih baterija na ekonomičan način moglo bi dovesti do pada cijene baterija. Materijali od kojih se sastoji litij-ionska baterija vidljivi su na slici 9.



Slika 9. Materijalna struktura litij-ionske baterije [13]

Neka velika postrojenja za pirometalurgiju ili taljenje danas recikliraju litij-ionske baterije. Ove jedinice, koje često rade na temperaturama blizu 1500 stupnjeva, obnavljaju kobalt nikal i bakar, ali ne i litij, aluminij ili bilo koje druge organske spojeve koji se spaljuju. Ovaj tip postrojenja zahtjeva vrlo velik kapital kako bi funkcionirali.

Hidrometalurška obrada ili kemijsko ispiranje, koje se komercijalno prakticira u Kini, nudi manje energetske intenzivnu alternativu i niže kapitalne troškove. Ovi procesi za ekstrakciju i odvajanje katodnih metala općenito se odvijaju ispod 100 stupnjeva i mogu oporaviti litij i bakar uz druge prijelazne materijale. Jedan nedostatak tradicionalnih metoda ispiranja je potreba za kaustičnim reagensima kao što su klorovodična, dušična i sumporna kiselina i vodikov peroksid.

U međuvremenu, DOE-ov(eng. *US Department of Energy*) ReCell tim provodi metode tzv. „intenzivnog recikliranja“ za obnavljanje i ponovnu upotrebu baterijskih materijala bez skupe obrade. Jedan pristup zahtijeva uklanjanje elektrolita superkritičnim ugljikovim dioksidom, zatim drobljenje ćelije i fizičko odvajanje komponenata- na primjer na temelju razlika u gustoći. U principu, gotovo sve komponente mogu se ponovo upotrijebiti nakon ove jednostavne obrade. Konkretno, budući da metoda ne koristi kiseline i druge oštre reagense, morfologija i kristalna struktura katodnih materijala ostaje netaknuta, a materijali zadržavaju elektrokemijska svojstva. [13]

Iako je većina postupaka recikliranja baterija u ranoj fazi razvoja, potreba za njima raste i njihova primjena uvelike može olakšati budućnost proizvodnje baterija.

### 3.2.2. Reciklaža matične ploče mobilnog uređaja

Nakon sortiranja matičnih ploča, većina se tvrtki oslanja na tri procesa za njihovu reciklažu, a to su pirometalurgija, hidrometalurgija i elektrokemijski procesi.

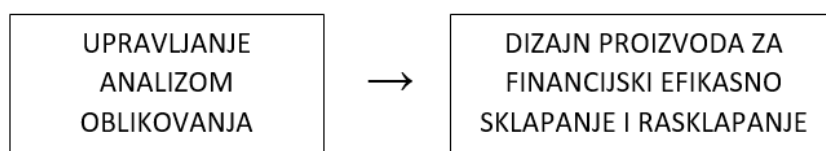
Pirometalurški proces započinje zagrijavanjem matične ploče na visoku temperaturu kako bi se razgradili materijali te kako bi se mogle izdvojiti komponente koje sadrže vrijedne metale poput zlata, bakra i srebra. Ovaj proces izvodi se u specijalnim pećima koje su konstruirane da izdrže visoke temperature i stvore okruženje bez kisika. [14]

Hidrometalurški procesi koriste tekuća sredstva za ispiranje koji se sastoje od dušične kiseline, sumporne kiseline i 'carske vode' (lat. Aqua regia) za dobivanje metala. Zbog svoje energetske učinkovitosti hidrometalurški procesi imaju prednost u odnosu na pirometalurške. [14]

U elektrokemijskim procesima, metali se otapaju u otapalu nakon drobljenja materijala, nakon čega slijedi uklanjanje stranih materijala poput smole, a zatim slijedi obnavljanje metala. Proces se odvija upotrebom pozitivnih i negativnih elektroda uronjenih u vodena otapala. Spajanje elektroda na izvor napajanja uzrokuje taloženje metala na katodi ili negativnoj elektrodi. Reakcija stvaranja kisika elektrolizom vode na anodi uzrokuje otapanje bakra nakon uklanjanja smole. [14]

## 4. SONYJEVA METODA ANALIZE RASKLOPIVOSTI PROIZVODA

Metoda DAC, od eng. *Design Analysis Control* (Slika 10.), olakšava stvaranje proizvoda koji su prikladni za sklapanje i rasklapanje. To je način razmišljanja koji pomaže u proizvodnom procesu osiguravajući da se postigne ocjena učinkovitosti za sklapanje i rasklapanje proizvoda prije nego što se odredi konačna struktura proizvoda. Svrha metode je prilagodba postojećih proizvoda sklapanju i rasklapanju uz minimalne troškove. Kao takav, koncept DAC stavlja značajnu količinu odgovornosti na konstruktora kako bi se osiguralo da se proces rastavljanja obavlja s lakoćom. Stoga, DAC predstavlja odmak od tradicionalnog razvoja proizvoda, u kojem se upravlja analizom konstrukcije (dizajna) proizvoda, a unaprijed zamišljen proizvod izrađen je tako da je njegovo sklapanje i rasklapanje financijski efikasno.

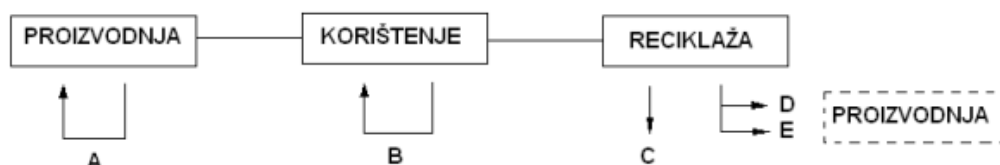


Slika 10. Metoda DAC [14]

### 4.1. Razlozi rasklapanja

Tijekom životnog vijeka proizvoda, koji uključuje razdoblje od njegove proizvodnje do zbrinjavanja, postoje brojni slučajevi u kojima može biti potrebno rasklapanje (demontaža) – Slika 11. Razlog i opseg rasklapanja mogu varirati ovisno o konkretnim okolnostima i ciljevima. Opseg demontaže može varirati ovisno o specifičnim potrebama i ciljevima procesa.

Na primjer, rastavljanje može uključivati samo uklanjanje nekoliko komponenti ili može zahtijevati potpuno rastavljanje cijelog proizvoda.



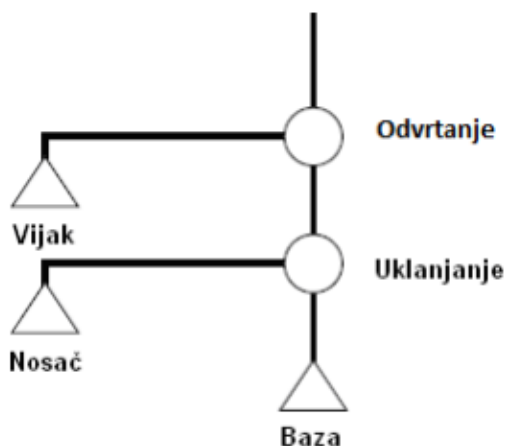
Slika 11. Rasklapanje u fazama životnog vijeka proizvoda[14]

Prema oznakama sa slike 11.:

- A- Rasklapanje se odvija tijekom proizvodnje kako bi se uklonili neispravni dijelovi
- B- Rasklapanje se odvija tijekom korištenja proizvoda zbog zamjene dijelova kojima je potrebno servisiranje
- C- Rasklapanje se odvija tijekom reciklaže u svrhu uklanjanja otrovnih dijelova
- D- Rasklapanje se odvija tijekom reciklaže u svrhu uklanjanja dijelova koji se mogu ponovo koristiti
- E- Rasklapanje se odvija tijekom reciklaže kada dolazi do izdvajanja komponenti spremnih za ponovnu uporabu.

## 4.2. Osnovne operacije rasklapanja

Izraz *rasklapanje* odnosi se na radnju odvrtnja i uklanjanja komponenti, kao i na obradu tih dijelova prije i nakon izvođenja takvih radnji. Kao primjer, neka se promotri situacija otpuštanja vijka nosača (Slika 12.), što uključuje dvije različite operacije: odvrtnje nakon kojeg slijedi uklanjanje. U situacijama u kojima je očuvanje oblika nije važno, tijekom procesa demontaže, radi zbrinjavanja, može se ponavljati operacija odvajanja postupkom odvrtnja nakon kojeg slijede dodatni postupci slamanja te naposljetku uklanjanje.



Slika 12. Dijagram toka otpuštanja vijka nosača [14]

### 4.3. Kriteriji ocjenjivanja

Lakoća rastavljanja za svaku temeljnu operaciju procjenjuje se na temelju tri primarna kriterija konstrukcije proizvoda (Slika 13.).

Prvi kriterij – Značajke rasklapanja (eng. *Features of Disassembly*) – ispituje koliko je lako orijentirati, osigurati i rastaviti dio.

Drugi kriterij – Značajke dijelova (eng. *Features of Part*) – razmatra oblik i druge atribute dijelova koji utječu na njegovu lakoću uklanjanja i kategorizaciju.

Treći kriterij – Značajke procesa (eng. *Features of Processing*) – procjenjuje koliko se lako osnovni dio može zadržati ili premjestiti za kasniju operaciju.



Slika 13. Kriteriji ocjenjivanja [14]

#### 4.4. Pravila ocjenjivanja

Pravila ocjenjivanja mogu se klasificirati u dvije glavne kategorije: temeljna pravila i posebna pravila koja se primjenjuju u specifičnim okolnostima. Ova posebna pravila mogu se odnositi na čimbenike kao što su veličina, težina i temperatura komponenti, kao i na mogućnosti proizvodne opreme koja se koristi.

Osnovne operacije:

1. Zahtjevi proizvoda smatraju se početnom radnjom.
2. Uklanjanje osnovnog (baznog) dijela.
3. Ukoliko se neki dio uklanja u isto vrijeme dok se odvrće neki drugi dio, uklanjanje tog dijela uzima se u obzir kao osnovna radnja.
4. Kontrola, prilagodbe i druge radnje smatraju se različitim osnovnim radnjama.
5. Kada je demontaža nemoguća zbog ljepljivosti ili drugih čimbenika, naziv komponente se upisuje u tablicu procjene i smatra se osnovnom operacijom.
6. Ponovljene radnje na istom dijelu smatraju se kao jedna osnovna radnja.

Značajke rasklapanja:

1. Za demontažu koja uključuje orijentaciju u dijelu radnje ili demontaža kod koje nije važna orijentacija rada, ne provodi se ispitivanje orijentacije.
2. Ukoliko postoji više od jednog zadržavanja u jednoj osnovnoj radnji, najveći dopušteni broj zadržavanja je dva.
3. Kada postoji kontinuirano zadržavanje uzimaju se rezultati za svaku osnovnu radnju dok se ne prekine zadržavanje.
4. Ne ispituje se pridržavanje za osnovne dijelove ako to nije u skladu s praktičnom primjenom.
5. Ako postoji radnja čupanja i trganja, ispituju se značajke rasklapanja dodajući bodove za odvrtnje i čupanje ili trganje.
6. Kod djelomičnog otpuštanja vijaka, rezultati značajki rasklapanja dijele se na pola iznosa koji je potrebno zaokružiti na prvi veći cijeli broj djeljiv s 10.



Značajke procesa:

1. Kada postoji više od jednog zadržavanja, ispitati značajke procesa množenjem vrijednosti s dva.
2. Kada postoji učestalo zadržavanje, potrebno je ispitati svaku osnovnu radnju dok se zadržavanje ne prekine.

Ostala su pravila:

1. Za dobavu proizvoda ispituju se samo značajke dijelova i značajke procesa.
2. Za posljednji uklonjeni dio ispituju se samo značajke dijelova.
3. Ako sušenje traje više od jedne minute, ne bilježi se vrijednost za niti jednu značajku. Za ukupni rezultat zabilježiti će se rezultat od 0 bodova, za standardne radnje i rasklopivost.
4. Kada je rasklapanje nemoguće zbog lijepljenja ili drugih faktora, ne bilježi se rezultat za niti jednu značajku. Ukupan rezultat se bilježi s 0 bodova za standardne radnje i za rasklopivost.
5. Ne ispituju se rezultati za procese kao što su kontrole i podešavanja.

#### **4.5. Osnovni proces ocjenjivanja**

Za procjenu lakoće rasklapanja za svaku osnovnu operaciju i identificiranje područja dizajna, slijedi se jednostavan postupak procjene. To uključuje dodjeljivanje rezultata koje se temelji na skali od 100 bodova za svaku operaciju na temelju dijagrama i ukupne ocjene. Ocjenjivanje započinje unosom imena i proizvoda koji se ocjenjuje te unosom simbola cilja rasklapanja, a nadalje prema postavkama i koracima, kako slijedi.

- Rasklapanje se odvija tijekom proizvodnje kako bi se uklonili neispravni dijelovi.
- Rasklapanje se odvija tijekom korištenja proizvoda zbog zamjene dijelova kojima je potrebno servisiranje.
- Rasklapanje se odvija tijekom reciklaže u svrhu uklanjanja otrovnih dijelova.
- Rasklapanje se odvija tijekom reciklaže u svrhu uklanjanja dijelova koji se mogu ponovno koristiti.
- Rasklapanje se odvija tijekom reciklaže kada dolazi do izdvajanja komponenti spremnih za ponovnu uporabu.

Korak (1): Zabilježiti simbol koji označava cilj demontaže.

- A – Demontaža tijekom proizvodnje u svrhu uklanjanja neispravnih dijelova.
- B – Demontaža tijekom korištenja proizvoda u svrhu zamjene dijelova kojima je potrebno servisiranje.
- C – Demontaža tijekom reciklaže u svrhu uklanjanja opasnih i štetnih dijelova.
- D – Demontaža tijekom reciklaže u svrhu uklanjanja dijelova koji se mogu ponovno koristiti.
- E – Demontaža tijekom reciklaže kada dolazi do izdvajanja komponenti spremnih za ponovnu upotrebu.

Korak (2): Upisati raspon demontaže:

- ako su ciljevi demontaže od A do D, upisati dijelove za uklanjanje
- ako je cilj demontaže E, upisati dijelove koji trebaju biti izdvojeni.

Korak (3): Unos osnovnih radnji.

Korak (4): Upisati broj dijelova i simbole dijelova za demontažu (Slika 14.):

- ako je cilj demontaže od A do D, upisati simbol za pričvršćene dijelove kao što su vijci i prsteni za stezanje te dijelove za uklanjanje, a ukoliko je
- cilj E upisati simbol za pričvršćene dijelove te simbol za dijelove za recikliranje.

Pričvršćeni dijelovi



Dijelovi za uklanjanje

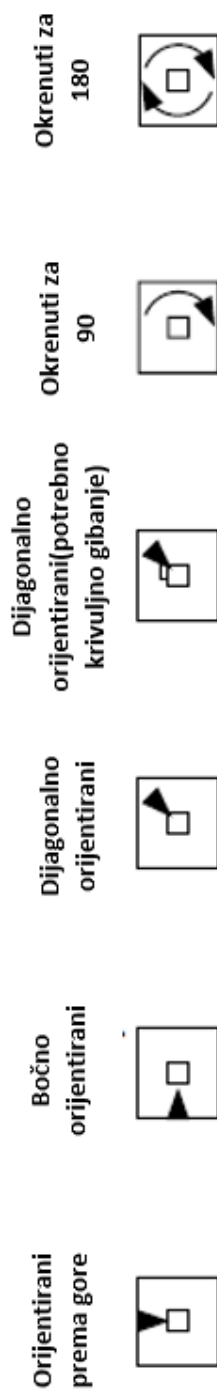


Dijelovi za recikliranje



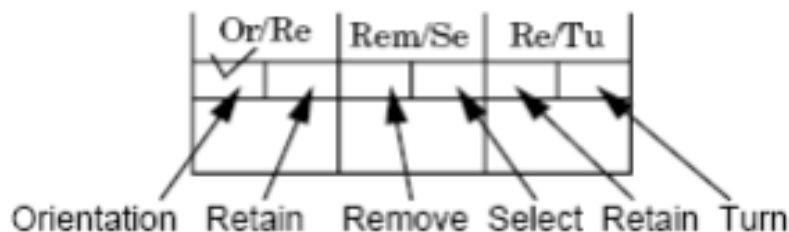
**Slika 14. Simboli dijelova za demontažu [14]**

Korak (5): Unos simbola koji označava po kojoj osi se vrši demontaža (Slika 15.).



Slika 15. Simbol osi po kojoj se vrši demontaža [14]

Korak (6): Odabrati i upisati rezultate značajki rasklapanja rezultatima iz DAC kôda rasklopivosti, istovremeno, potrebno je i označiti odabrane značajke kvačicom. Također označiti odabrane značajke kvačicom kada se ocjenjuju značajke dijelova i značajke procesa (Slika 16.)



Slika 16. Označavanje vrednovanih značajki [14]

Korak (7): Odabir i upis rezultata značajki procesa iz DAC koda rasklopivosti:

- ako je cilj rasklapanja A, B, C ili D, ocjenjuje se samo uklanjanje; a kada je
- cilj rasklapanja E, ocjenjuje se uklanjanje i odabiranje.

Korak (8): Odabir i upis rezultata značajki procesa iz DAC koda rasklopivosti.

Korak (9): Izračunavanje i upis konačnog zbroja bodova za sve značajke (ukupan zbroj vrijednosti značajki),  $f$ , prema izrazu:

$$f = f_1 + f_2 + f_3 \quad (1)$$

pri čemu su:

$f_1$  – značajke rasklapanja

$f_2$  – značajke dijelova

$f_3$  – značajke procesa.

Korak (10): Izračunavanje i upis rezultata standardnih radnji,  $o$ , prema izrazu:

$$o = f \times n \quad (2)$$

gdje su:

$f$  – ukupan zbroj vrijednosti značajki

$n$  – broj osnovnih radnji.

Korak (11): Izračunavanje i upis faktora rasklopivosti,  $d$ :

$$d = 100 - f. \quad (3)$$

Korak (12): Ispuniti stupčasti grafik u dijagramu rasklopivosti na temelju vrijednosti izračunate u koraku 11.

Korak (13): Nakon popunjavanja dijagrama ocjenjivanja, izračunavaju se i upisuju ukupni rezultati ocjenjivanja:

- prosječan faktor rasklopivosti, D1 (u bodovima):

$$D1 = \sum d/n \quad (4)$$

- faktor rasklopivosti, D2, (%):

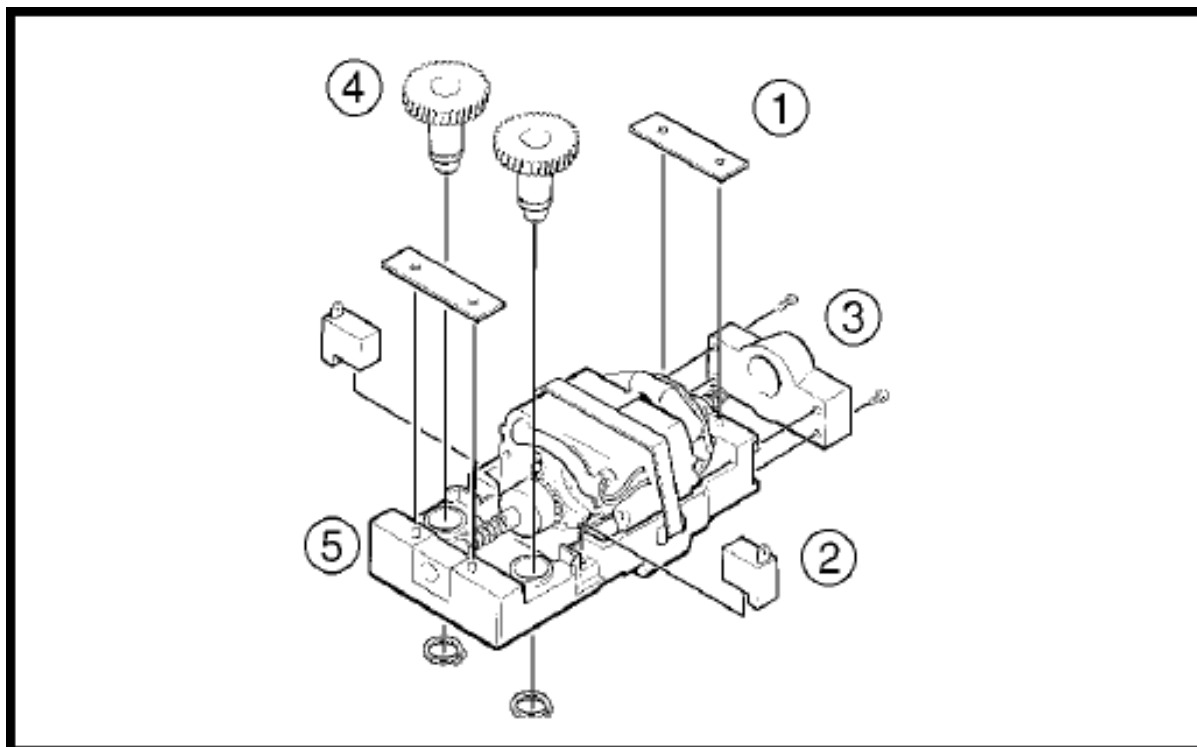
$$D2 = (n \text{ čiji su } D1 \text{ veći od } 70 \text{ bodova})/n \quad (5)$$

- ukupan rezultat standardnih radnji, D3 (u bodovima):

$$D3 = \sum P \quad (6)$$

gdje je  $P$  broj dijelova za sklapanje.

Slika 17. prikazuje komponente motora s reduktorom koje će se rasklapati. Slika 18. prikazuje primjer osnovnog ocjenjivanja demontaže motora zupčanika nakon primjene prethodno navedenih 13 koraka.



Slika 17. Komponente motora s reduktorom koje će se rasklapati [14]

| Sheet #<br>Disassembly<br>Sequence | Basic Operation        | pd<br>No. of<br>parts for<br>disassembly | Disassembly<br>Direction,<br>Product<br>Orientation | korak (4)                                  |                                    |  | korak (6)   |                                    |   | korak (8) |    |    | korak (10) |  |  | korak (12) |  |  |
|------------------------------------|------------------------|--|---|--|------------------------------------|--|---|------------------------------------|---|-----------|----|----|------------|--|--|------------|--|--|
|                                    |                        |  |   | (1) Features<br>of<br>Disassembly<br>Or/Re | (2) Features<br>of Parts<br>Rem/Se | (3) Features<br>of Processing<br>Ro/Tu | f = (1) +<br>(2) + (3)<br>Total<br>Feature<br>Score | o = f × n<br>Standard<br>Operation | d = 100 - f<br>Disassembly-Ease diagram | 0         | 50 | 70 |            |  |  |            |  |  |
|                                    | Supply                 |  | ▼   |  | 0                                  | 0                                      | 0   | 0                                  | 0                                       | 100       | ▼  |    |            |  |  |            |  |  |
| ①                                  | Pull-out               | 2  | □   | 10   | 0                                  | 0                                      | 10  | 2                                  | 20                                      | 90        | ▼  |    |            |  |  |            |  |  |
| ②                                  | Snap-out               | 2  | ▼   | 50   | 0                                  | 0                                      | 50  | 2                                  | 100                                     | 50        | ▼  |    |            |  |  |            |  |  |
|                                    | Unscrew                | 2  | □   | 30   | 0                                  | 0                                      | 30  | 2                                  | 60                                      | 70        | ▼  |    |            |  |  |            |  |  |
| ③                                  | Remove                 | 1  | ◻   | 10   | 0                                  | 20                                     | 30  | 30                                 | 30                                      | 70        | ▼  |    |            |  |  |            |  |  |
|                                    | Retaining ring removal | 2  | ▼   | 20   | 0                                  | 0                                      | 20  | 2                                  | 40                                      | 80        | ▼  |    |            |  |  |            |  |  |
| ④                                  | Remove                 | 2  | □   |  | 0                                  |  | 0   | 2                                  | 0                                       | 100       | ▼  |    |            |  |  |            |  |  |
| ⑤                                  | Remove                 | 1  | □   |  | 0                                  |  | 0   |                                    | 0                                       | 100       | ▼  |    |            |  |  |            |  |  |

Korak (13)



Slika 18. Primjer osnovnog ocjenjivanja demontaže motora s reduktorom [14]

## 5. PROCJENA RASKLOPIVOSTI MOBILNOG UREĐAJA

Metoda DAC u ovom radu primijenjena je na mobilni uređaj 'Samsung Galaxy A12' (Slika 19.).



**Slika 19. Samsung Galaxy A12 [16]**

Gabaritne dimenzije mobitela su: visina 164 mm, širina 75,8 mm i debljina 8,9 mm. Mobitel je sklop koji se sastoji od vrlo mnogo komponenti i zasebnih sklopova. Svaki taj sklop bi se trebao rasklapati u višoj fazi rasklapanja, odnosno za njih bi se trebala izvesti posebna analiza metodom DAC. Iz tog razloga, a za potrebe ovog rada, rastavit će se samo osnovne komponente uređaja, a to su: kućište, baterija, fotoaparati, matična ploča i zaštitni poklopci, tako da će na kraju preostati zaslon sa svojim podsklopovima.



Redosljed rasklapanja jest:

1. Kućište
2. Vijak (13 komada)
3. Plastični poklopac (2 komada)
4. Prednja kamera
5. Vijak
6. Matična ploča
7. Baterija
8. Zaslona.

Prilikom analize mobilnog uređaja, vijcima se ne dodjeljuju broježane vrijednosti kao posebnim dijelovima unutar sklop(ov)a, budući da se smatraju spojnim dijelovima tj. dodatnim materijalom.

## 5.1. Osnovne radnje za rasklapanje mobilnog uređaja

### 5.1.1. Značajke rasklapanja mobilnog uređaja

Značajke rasklapanja ocjenjuju jednostavnost kojom dijelovi mogu biti orijentirani, (pri)držani i rastavljeni. Ključne riječi značajki rasklapanja su: orijentacija (eng. *orientation*), pridržavanje (eng. *retain*) i rasklapanje (eng. *disassembly*). Prilikom rasklapanja mobitela svi dijelovi imali su orijentaciju prema gore, zbog čega se značajka *orijentacija* (ORIENTATION) ocjenjuje s 0 bodova.

Budući da nije potrebno potpuno uklještenje mobilnog uređaja nego samo ograničavanje određenih stupnjeva slobode gibanja, značajka pridržavanja (RETAIN) ocjenjuje se s 0 bodova.

Osnovne radnje rasklapanja mobilnog uređaja opisane su tekstom koji slijedi.

Prva radnja je dobava SUPPLY mobilnog uređaja.

Zatim slijedi izvlačenje kućišta radnjom PULL-OUT 10.

Nakon uklanjanja kućišta slijedi odvijanje 13 vijaka radnjom UNSCREW 20.

Kada su vijci uklonjeni, dva plastična poklopca jednostavno se mogu izvući radnjom PULL-OUT 10.

Nakon što su uklonjeni plastični poklopci, potrebno je ukloniti još jedan vijak radnjom UNSCREW 20, a zatim se matična ploča i prednja kamera mogu izvući također radnjom PULL-OUT 10.

Baterija se odvaja od ostatka uređaja na način da se prvo zagrije radnjom DRY 30, nakon čega je bateriju puno lakše izvući radnjom PULL-OUT 10.

Zadnji preostali dio je zaslon uređaja te se za njega ne ocjenjuju značajke rasklapanja i značajke procesa, već samo značajke dijela.

### 5.1.2. Značajke dijelova mobilnog uređaja

Značajke dijelova mobilnog uređaja kao i objašnjenje rezultata ocjenjivanja prikazani su u tablici 1.

**Tablica 1. Tablica ocjenjivanja značajki dijelova**

| IME DIJELA         | BROJ DIJELA | UKLANJANJE | ZNAČAJKE DIJELOVA | OBJAŠNENJE REZULTATA OCJENJIVANJA  |
|--------------------|-------------|------------|-------------------|--|
| KUĆIŠTE            | 1           | 10         | 10                | Uklanjanje otežano zbog steznog spoja između kućišta i ostatka uređaja.                |
| PLASTIČNI POKLOPAC | 2           | 0          | 0                 | Nema problema s uklanjanjem.   |
| PREDNJA KAMERA     | 3           | 0          | 0                 | Nema problema s uklanjanjem.   |
| MATIČNA PLOČA      | 4           | 0          | 0                 | Nema problema s uklanjanjem.   |
| BATERIJA           | 5           | 10         | 10                | Uklanjanje otežano zbog ljepila koje se mora zagrijavati kako bi se baterija odvojila. |
| ZASLON             | 6           | 0          | 0                 | Nema problema s uklanjanjem.   |

### 5.1.3. Značajke procesa mobilnog uređaja

Pri ocjenjivanju značajki procesa potrebno je ispitati značajke pridržavanja [Retain] i značajke okretanja [Turn].

Budući da nije nužno fiksiranje baznog dijela kod rasklapanja, značajka pridržavanja [Retain] ocjenjuje se s 0 bodova.

Značajka okretanja [Turn] ocjenjuje se s 20 bodova zbog okretanja koje je potrebno izvesti u svrhu uklanjanja baterije prilikom zagrijavanja ljepila kojim je ona pričvršćena. Uređaj se morao zarotirati iz razloga što nije sigurno toplinu primjenjivati direktno na bateriju pa smo uređaj zagrijavali sa strane zaslona.

## 5.2. Osnovni proces ocjenjivanja mobilnog uređaja

Tablica DAC za sklop (eng. *DAC sheet assembly*) – Tablica 2., popunjava se nakon što su vrijednosti značajki rasklapanja, dijelova i procesa određene.

**Tablica 2. Prvi koraci analize DAC za mobilni telefon**

|                               |   |
|-------------------------------|---|
| Ime proizvoda za rasklapanje: | Mobilni uređaj  |
| Cilj rasklapanja:             | D – Rasklapanje tijekom recikliranja s ciljem dobave dijelova koji se mogu ponovno upotrijebiti |
| Raspon rasklapanja            | Izdvajanje dijelova do zaslona uređaja  |

U tablici 3. prikazano je osnovno ocjenjivanje značajki za mobilni uređaj. Tablica 4. prikazuje rezultate ocjenjivanja.

Tablica 3. Tablica DAC: osnovno ocjenjivanje za mobilni uređaj

| Sheet #<br>Disassembly<br>Procedure | Basic Operation | P<br>No. of<br>Parts | Disassem-<br>bly<br>Direction,<br>Product<br>Orienta-<br>tion | (1) Features<br>of<br>Disassembly<br>Or/Re | (2) Features<br>of Parts<br>Rem/Se | (3) Features<br>of Processing<br>Re/Tu | f = (1) +<br>(2) + (3)<br>Total<br>Features | o = f × n<br>Standard<br>Operation | d = 100 - f<br>Disassembly-Ease diagram |     |    |  |  |
|-------------------------------------|-----------------|----------------------|---|--|------------------------------------|--|---|------------------------------------|---|-----|----|--|--|
|                                     |                 |                      |   |  |                                    |  |   |                                    | 0                                       | 50  | 70 |  |  |
|                                     | SUPPLY          | 1                    | <input type="checkbox"/>                                      |  | 0                                  | 0                                      | 0   |                                    | 0                                       | 100 |    |  |  |
|                                     | 1 PULL-OUT      | 1                    | <input type="checkbox"/>                                      | 10   | 10                                 | 0                                      | 20  | 20                                 | 80                                      |     |    |  |  |
|                                     | 2 REMOVE        | 1                    | <input type="checkbox"/>                                      | 0  | 0                                  | 0                                      | 0   | 0                                  | 100                                     |     |    |  |  |
|                                     | UNSCREW         | 13                   | <input type="checkbox"/>                                      | 20   | 0                                  | 0                                      | 20  | 13                                 | 260                                     | 80  |    |  |  |
|                                     | 3 REMOVE        | 13                   | <input type="checkbox"/>                                      | 0  | 0                                  | 0                                      | 0   | 13                                 | 0                                       | 100 |    |  |  |
|                                     | 4 PULL-OUT      | 2                    | <input type="checkbox"/>                                      | 10   | 0                                  | 0                                      | 10  | 2                                  | 20                                      | 90  |    |  |  |
|                                     | 5 REMOVE        | 2                    | <input type="checkbox"/>                                      | 0  | 0                                  | 0                                      | 0   | 2                                  | 0                                       | 100 |    |  |  |
|                                     | UNSCREW         | 1                    | <input type="checkbox"/>                                      | 20   | 0                                  | 0                                      | 20  | 20                                 | 80                                      |     |    |  |  |
|                                     | 6 REMOVE        | 1                    | <input type="checkbox"/>                                      | 0  | 0                                  | 0                                      | 0   | 0                                  | 100                                     |     |    |  |  |
|                                     | 7 PULL OUT      | 2                    | <input type="checkbox"/>                                      | 10   | 0                                  | 0                                      | 10  | 2                                  | 20                                      | 90  |    |  |  |
|                                     | 8 REMOVE        | 2                    | <input type="checkbox"/>                                      | 0  | 0                                  | 0                                      | 0   | 2                                  | 0                                       | 100 |    |  |  |
|                                     | 9 DRY           | 1                    | <input checked="" type="checkbox"/>                           | 30   | 0                                  | 20                                     | 50  | 50                                 | 50                                      |     |    |  |  |
|                                     | 10 PULL-OUT     | 1                    | <input type="checkbox"/>                                      | 10   | 10                                 | 0                                      | 20  | 20                                 | 80                                      |     |    |  |  |
|                                     | 11 REMOVE       | 1                    | <input type="checkbox"/>                                      | 0  | 0                                  | 0                                      | 0   | 0                                  | 100                                     |     |    |  |  |

Tablica 4. Rezultati ocjenjivanja osnovnog ocjenjivanja za mobilni uređaj

|  |                    |
|--|--------------------|
| Ukupan broj dijelova P (bodovi)                | 8                  |
| Prosječan faktor rasklopivosti D1 (bodovi)     | 89,3               |
| Faktor rasklopivosti D2 (%)                    | 92,9               |
| Ukupan rezultat standardnih radnji D3 (bodovi) | 1250               |
| Stopa uspjeha koncepta C (%)                   | Računa se naknadno |

### 5.2.1. Tumačenje rezultata ocjenjivanja osnovnog ocjenjivanja za mobilni uređaj

Rasklopivost se ocjenjuje za svaku osnovnu radnju po skali od 0 do 100 bodova (Tablica 5.). Iz tablice je vidljivo da mobilni uređaj ima laku rasklopivost te da rasklapanje uključuje jednostavne radnje koje mogu biti izvedene relativno lako ručno ili robotima.

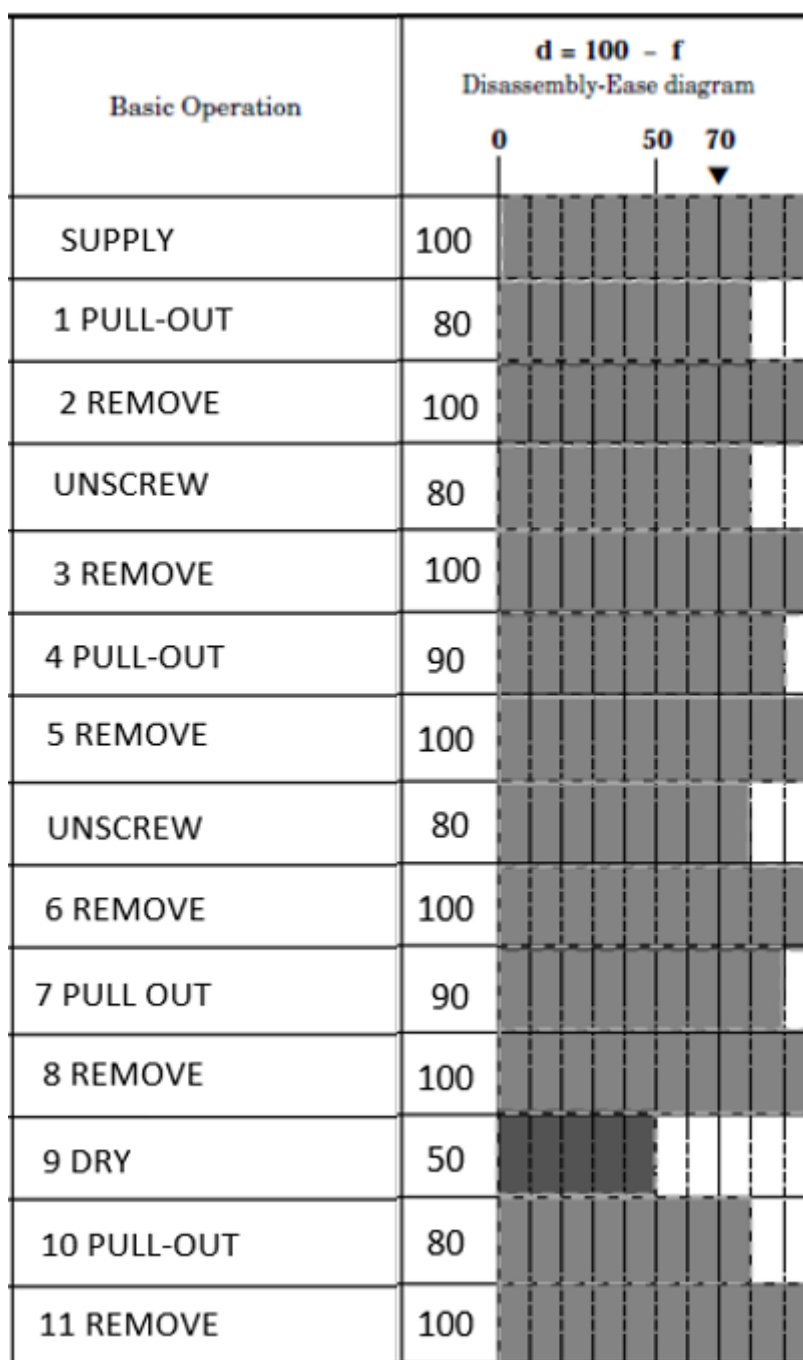
**Tablica 5. Rasklopivost izražena u bodovima [15]**

|                  |   |
|------------------|---|
| 70 do 100 bodova | Laka rasklopivost. Rasklapanje uključuje jednostavne radnje koje mogu biti izvedene relativno lako ručno ili robotima |
| Oko 50 bodova    | Za rasklapanje je potreban određeni stupanj vještine. Konstrukciju je potrebno još jednom pregledati.                 |
| Blizu 0 bodova   | Teško rasklopivo. Potrebno hitno poboljšanje konstrukcije   |

Parametri rasklopivosti su:

- Prosječni faktor rasklopivosti D1 koji pokazuje kolika je rasklopivost proizvoda. Ta vrijednost se uzima kao pomoćna vrijednost faktoru rasklopivosti D2. Izražava se u bodovima (maksimalno 100 bodova).
- Faktor rasklopivosti D2 koji pokazuje rasklopivost proizvoda u postocima (maksimalno 100 %).
- Ukupan rezultat standardnih radnji D3 pokazuje koliko je truda potrebno uložiti u rasklapanje proizvoda.

Slika 20. prikazuje dijagram rasklopivosti mobilnog telefona. Kod dijagrama rasklopivosti moguće je vidjeti koliko jednostavno se izvodi svaka osnovna radnja. Također pokazuje tok izvršavanja radnji rasklapanja. Radnje pomoću kojih je dijagram rasklopivosti formiran detaljno su opisane u točki 5.1.1. Iz dijagrama rasklopivosti vidljivo je da postoje poteškoće prilikom odvajanja baterije zbog ljepila kojim je pričvršćena i zbog kojeg je potrebno dovesti toplinu mobilnom uređaju. Toplina se ne dovodi direktno na bateriju, nego je potrebno okrenuti uređaj te toplinu dovesti s druge strane odnosno sa strane zaslona. Nakon zagrijavanja, ljepilo kojim je pričvršćena popusti te je moguće izvući bateriju.



Slika 20. Dijagram rasklopivosti mobilnog telefona

### 5.3. Ocjenjivanje koncepta konstrukcije za rasklapanje proizvoda

U daljnjem postupku metode DAC potrebno je odabrati koncept (Tablica 6.) koji najbolje odgovara stilu rasklapanja te nakon toga provjeriti u kojoj mjeri se proizvod slaže s odabranim konceptom.

Tablica 6. Osnovni koncepti konstrukcija za rasklapanje [15]

| VRSTE KONCEPTA<br>RASKLAPANJA          | PRIMJER  |
|--|--|
| Minimalan broj materijala dijelova     | Svi dijelovi od plastike, svi dijelovi od aluminija  |
| Uklanjanje jednog dijela               | Uklanjanje motora, uklanjanje baterija   |
| Minimalan broj dijelova za rasklapanje | Nema spajanja dijelova, nema vijaka, nema žica   |
| Rasklapanje na jednom mjestu           | Koncentracija žica na jednom mjestu, koncentracija dijelova osjetljivih na grebanje na jednom mjestu |
| Jednak proces                          | Isti procesi za podlogu i motor, isti procesi za podlogu i baterije                                  |
| Rasklapanje po istoj osi               | Orijentacija prema gore, bočna orijentacija  |
| Jednostavno spajanje                   | Spajanje uskočnicima, spajanje vijcima   |
| Ista metoda spajanja                   | Sva spajanja uskočnicima, sva spajanja vijcima   |
| Jednostavni dijelovi                   | Nema mekih ili fleksibilnih dijelova, nema dijelova osjetljivih na ogrebotine i prljavštinu          |

Odabran je koncept „jednostavni dijelovi“ iz razloga što mobilni uređaj nema fleksibilnih ili mekih dijelova te nema dijelove koji su osjetljivi na ogrebotine ili prljavštinu. Drugi odabrani koncept je „jednostavno spajanje“ jer je većina dijelova spojena uskočnim spojem.

Stopa uspjeha koncepta,  $C$ , računa se izrazom:

$$C = \sum oc / \sum o . \quad (7)$$

pri čemu su:

$oc$  – rezultat standardnih radnji čije osnovne radnje postižu konceptne kriterije

$o$  – rezultat standardnih radnji.

Budući da nema fleksibilnih ili mekih dijelova te dijelova koji su osjetljivi na ogrebotine ili prljavštinu, uklanjanje je jednostavno, konceptu „jednostavni dijelovi“ odgovara radnja REMOVE.

Konceptu „jednostavno spajanje“ odgovara radnja PULL-OUT jer je većina dijelova spojena uskočnim spojem.

U procesu rasklapanja mobilnog uređaja postoji ukupno 13 radnji, pri čemu se radnja REMOVE ponavlja šest puta, a radnja PULL-OUT četiri puta.

Iz toga slijedi da je stopa uspjeha koncepta C za mobilni uređaj 77 %.

**Tablica 7. Postotak postignuća kriterija koncepta**

|               |   |
|---------------|---|
| 70 % do 100 % | Konstrukcija je u skladu s konceptom.   |
| 50%           | Konstrukciju je potrebno ponovo pregledati i unijeti male promjene kako bi se postigao željeni koncept.     |
| 0%            | Postizanje koncepta s tim konstrukcijskim rješenjem je teško. Potrebne su preinake u konstrukciji proizvoda |

Uspoređujući dobiveni rezultat stope uspjeha s tablicom 7. proizlazi da je konstrukcija mobilnog uređaja u skladu s odabranim konceptima.

### 5.3.1. Poboljšanje vremena rasklapanja

Poboljšanje vremena rasklapanja može se odrediti izračunavanjem vremena rasklapanja na temelju ukupnog rezultata standardnih radnji postignutih tijekom osnovnog ocjenjivanja.

Vrijeme rasklapanja za automatsku demontažu,  $t$ , [minuta], računa se izrazom:

$$t = (P + \text{ukupan rezultat standardnih radnji D3}) \times \text{vremenski koeficijent.} \quad (8)$$

Ukoliko proizvod stane u dlan, njegov vremenski koeficijent iznosi od 1/750 do 1/1000.

Ukoliko proizvod stane na stol, njegov vremenski koeficijent iznosi od 1/500 do 1/750.

Ukoliko proizvod ne stane niti u dlan, niti na stol, njegov vremenski koeficijent iznosi od 0 do 1/500.

Mobilni uređaj stane u dlan, na temelju toga odabran je vremenski koeficijent 1/750.



Dakle, vrijeme rasklapanja za automatsku demontažu,  $t$ , jest:

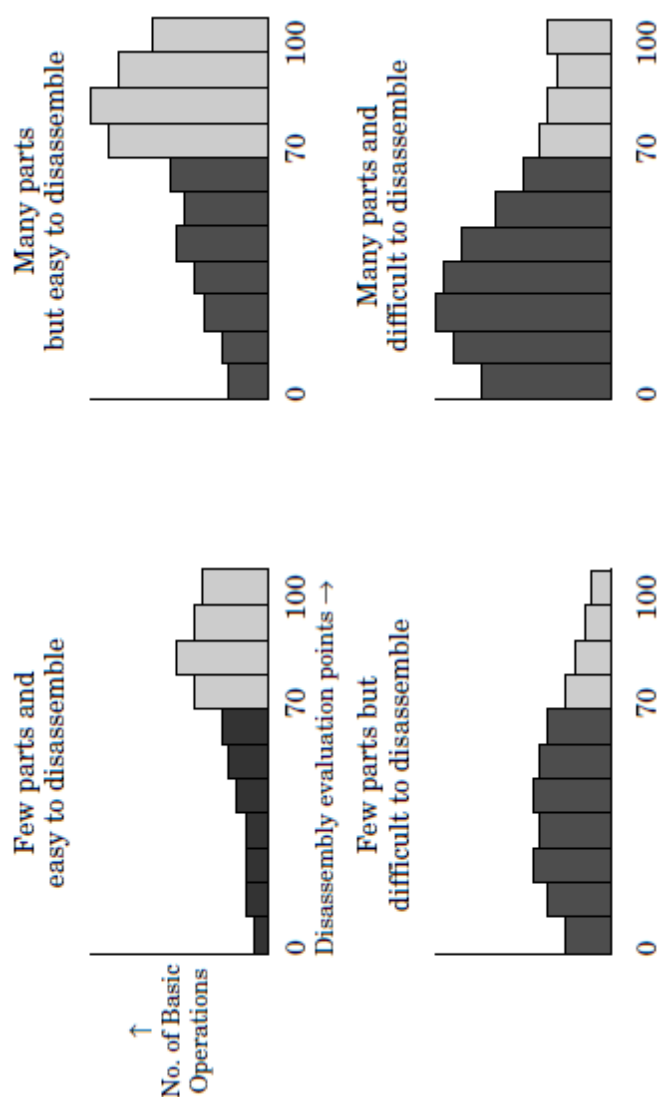
$$t = (21+1270) \times 1/750 = 1,72 \text{ minuta} = \mathbf{1.43 \text{ minuta.}}$$

Vrijeme rasklapanja za ručnu demontažu iznosi oko 6 minuta. [17]

### 5.3.2. Distribucijski dijagrami

Distribucijski dijagrami (Slika 18.) prikazuju relativan odnos između rezultata vrednovanja rasklopivosti i broja osnovnih radnji. [15]

Iz distribucijskih dijagrama vidljivo je da mobilni uređaj pripada grafu u gornjem desnom kutu, jer se sastoji od puno dijelova koje je jednostavno demontirati.



Slika 21. Distribucijski dijagrami za mobilni telefon [15]

## 6. ZAKLJUČAK

Proces demontaže ključan je u procesu reciklaže mobilnih uređaja. U modernom svijetu kvaliteta, jednostavnost i efikasnost temelj su svakog procesa. Poboljšana značajka sklopivosti i rasklopivosti uvelike može unaprijediti sveukupnu kvalitetu proizvoda. Metoda DAC namijenjena je konstruktorima kako bi tvorevina koja se proizvodi bila što jednostavnija za montažu i demontažu. DAC je najučinkovitiji kada se primjeni u početnoj fazi konstruiranja proizvoda, ukoliko se primjeni tada, moguće je smanjiti troškove proizvodnje izbjegavajući konstrukcijske promjene koje bi bile potrebne u kasnijim fazama razvoja.

Metoda DAC za ocjenjivanja rasklopivosti proizvoda uključuje značajke dijelova, značajke rasklapanja i značajke procesa. Analizom se dobivaju parametri rasklopivosti iz kojih se jasno vidi lakoća sklapanja pojedinih dijelova proizvoda. Ti parametri uključuju prosječan faktor rasklopivosti D1, faktor rasklopivosti D2, ukupni rezultat standardnih radnji D3 i stopu uspjeha koncepta C.

U radu je provedena analiza rasklopivosti mobilnog telefona metodom DAC.

Prosječan faktor rasklopivosti D1 iznosi 89,3 (od mogućih 100) te je vidljivo da su komponente mobilnog uređaja, koje su analizirane u ovom radu, lako rasklopive. Ukupni faktor rasklopivosti iznosi 92,8 % što pokazuje da se vodilo računa o sklopivosti i rasklopivosti uređaja od početne faze konstruiranja.

Za računanje stope uspjeha koncepta potrebno je odabrati koncept koji najbolje odgovara stilu rasklapanja. Odabrani koncepti su „jednostavni dijelovi“ i „jednostavno spajanje“, iz čega slijedi da stopa uspjeha koncepta C za mobilni telefon iznosi 77 %. Kada stopa uspjeha koncepta iznosi preko 70 % zaključuje se da je konstrukcija u skladu s konceptom.

Analiza po metodi DAC pokazala je da bi vrijeme rasklapanja mobilnog uređaja, kada bi ono bilo automatizirano, iznosilo 1 minutu i 43 sekunde. Budući da ručno rasklapanje proizvoda

traje oko 6 minuta, automatizirano rasklapanje je vremenski mnogo kraće, a i isplativije pogotovo na većem uzorku mobilnih telefona. Dakle, na osnovi toga moglo bi se zaključiti da je za osnovne sklopove tj. komponente mobilnog telefona primjenjivo automatsko rasklapanje.

Problem rasklapanja proizvoda postaje sve aktualniji, pa stoga i metoda DAC ima sve veći značaj. Daljnji rad mogao bi se odnositi na povećanje efikasnosti primjene metode DAC stvaranjem njene softverske inačice odnosno implementacijom u CAD softver.

## 7. LITERATURA

- [1] <https://www.t.ht.hr/drustvena-odgovornost/modal-zbrinjavanje-mobitela/> Pristupljeno: 2022-20-12
- [2] <https://www.oberlo.com/statistics/how-many-people-have-smartphones> Pristupljeno: 2022-20-12
- [3] Pia Tanskanen, Electronics Waste: Recycling of Mobile Phones
- [4] <https://bs.wikipedia.org/wiki/Polikarbonat> Pristupljeno: 2023-10-01
- [5] Dalibor Videršćak: Završni rad – Materijali dijelova mobilnog telefona, Zagreb 2016.
- [6] <https://www.todoandroid.es/hr/%C5%A1to-je-napravljeno-od-mobilnih-materijala/>  
Pristupljeno: 2023-12-01
- [7] [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013\\_10\\_131\\_2866.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013_10_131_2866.html) Pristupljeno: 2023-12-01
- [8] <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=15780> Pristupljeno: 2023-10-02
- [9] [https://www.wastecare.com/Articles/Cell\\_Phone\\_Recycling.htm](https://www.wastecare.com/Articles/Cell_Phone_Recycling.htm) Pristupljeno: 2023-10-02
- [10] <https://www.neway.mobi/hr/mobile-phone-components/> Pristupljeno: 2023-13-02
- [11] <https://www.samsungsdi.com/column/technology/detail/55272.html> Pristupljeno: 2023-13-02
- [12] <https://www.androidsis.com/hr/amoled-ili-ips-zaslon/> Pristupljeno: 2023-14-02
- [13] <https://cen.acs.org/materials/energy-storage/time-serious-recycling-lithium/97/i28>  
Pristupljeno: 2023-14-02
- [14] <https://www.candorind.com/pcb-recycling/>, Pristupljeno: 2023-14-02

[15] SONY DAC Disassembly Evaluation/Design Manual, 1996.

[16] <https://www.samsung.com/hr/smartphones/galaxy-a/galaxy-a12-black-128gb-sm-a125fzkkeue/>, Pristupljeno 2023-15-02

[17] [https://www.youtube.com/watch?v=671DETWF\\_qY](https://www.youtube.com/watch?v=671DETWF_qY), Pristupljeno 2023-17-02