

Procjena rasklopivosti prijenosnog računala

Mikoč, Sara

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

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:235:928518>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-17**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Sara Mikoč

Zagreb, 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr.sc. Zoran Kunica

Student:

Sara Mikoč

Zagreb, 2024.

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 / 24 – 06 / 1 | |
| Ur.broj: 15 – 24 – | |

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Sara Mikoč** JMBAG: **0035224929**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Procjena rasklopivosti prijenosnog računala**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Evaluation of ease of laptop disassembly**

Opis zadatka:

Prijenosna računala su masovno korišten proizvod. Shodno tome, od posebnog je interesa zbrinjavanje dotrajalih prijenosnih računala, a unutar njega mogućnost rasklapanja tj. demontaže.

U radu je potrebno:

1. objasniti važnost rasklapanja dotrajalih proizvoda, napose prijenosnih računala
2. istražiti i navesti neke od postojećih postupaka za procjenu rasklopivosti proizvoda
3. odabranim postupkom procijeniti rasklopivost dostupnog prijenosnog računala.

Zadatak zadan:

24. 4. 2024.

Datum predaje rada:

2. rok (izvanredni): 11. 7. 2024.
 3. rok: 19. i 20. 9. 2024.

Predviđeni datumi obrane:

2. rok (izvanredni): 15. 7. 2024.
 3. rok: 23. 9. – 27. 9. 2024.

Zadatak zadao:

prof. dr. sc. Zoran Kunica

Predsjednik Povjerenstva:

prof. dr. sc. Damir Godec

IZJAVA

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

Zahvaljujem mentoru, prof.dr.sc. Zoranu Kunici i asistentu, Denisu Mliviću mag.ing. na stručnoj pomoći tijekom izrade završnog rada.

Isto tako zahvaljujem se svojoj obitelji i prijateljima na potpori tijekom studiranja.

U Zagrebu, 18. rujna 2024.

Sara Mikoč

SAŽETAK

U ovom radu objašnjena je važnost rasklapanja dotrajalih proizvoda, s naglaskom na prijenosna računala. Navedeno i objašnjeno je nekoliko postojećih postupaka za procjenu rasklopivosti proizvoda, kao što su analiza vrijednosti rasklapanja, oblikovanje proizvoda za rasklapanje, Sonyjeva metoda analize rasklopivosti i druge. Provedena je procjena rasklopivosti odabranog prijenosnog računala primjenom Sonyjeve metode DAC, kojom je ustanovljeno da je proizvod lako rasklopljiv.

Ključne riječi: rasklapanje, prijenosno računalo, rasklopivost, Sony DAC

SUMMARY

This paper explains the importance of disassembling end-of-life products, with a focus on laptops. Several existing methods for evaluating product disassemblability are presented and explained, such as Value Analysis Teardown, Design for Disassembly, the Sony's method of disassembly analysis and others. An evaluation of the disassembly of a selected laptop was conducted using Sony's DAC method, which determined that the product is easily disassemblable.

Key words: disassembly, laptop, disassemblability, Sony 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 |
| 1. UVOD..... | 1 |
| 2. POSTUPCI ZA PROCJENU RASKLOPIVOSTI PROIZVODA..... | 3 |
| 2.1. Analiza vrijednosti rasklapanja..... | 4 |
| 2.2. Oblikovanje proizvoda za rasklapanje | 5 |
| 2.3. Oblikovanje proizvoda za recikliranje..... | 8 |
| 2.4. Oblikovanje proizvoda za kraj životnog ciklusa | 9 |
| 2.5. Sonyjeva metoda analize rasklopivosti proizvoda | 9 |
| 2.5.1. Vrste rasklapanja | 10 |
| 2.5.2. Osnovne operacije | 11 |
| 2.5.3. Kriteriji ocjenjivanja | 12 |
| 2.5.4. Pravila ocjenjivanja | 16 |
| 2.5.5. Osnovni proces ocjenjivanja | 20 |
| 2.5.6. Procjena ciljeva i analize..... | 24 |
| 3. PROCJENA RASKLOPIVOSTI PRIJENOSNOG RAČUNALA | 26 |
| 3.1. Osnovne operacije rasklapanja kod prijenosnog računala..... | 29 |
| 3.1.1. Značajke rasklapanja | 29 |
| 3.1.2. Značajke dijelova | 30 |
| 3.1.3. Značajke procesa | 32 |

| | |
|--|-----------|
| 3.2. Osnovni proces ocjenjivanja rasklapanja sklopa prijenosno računalo | 32 |
| 3.3. Odabir koncepta konstrukcije za rasklapanje sklopa prijenosno računalo..... | 35 |
| 4. PROCJENA RASKLOPIVOSTI SKLOPA MATIČNE PLOČE..... | 38 |
| 4.1. Osnovne operacije rasklapanja kod sklopa matična ploča | 40 |
| 4.1.1. Značajke rasklapanja | 40 |
| 4.1.2. Značajke dijelova | 40 |
| 4.1.3. Značajke procesa | 41 |
| 4.2. Osnovni proces ocjenjivanja rasklapanja sklopa matična ploča..... | 42 |
| 4.3. Odabir koncepta konstrukcije za rasklapanje sklopa matična ploča | 44 |
| 5. PROCJENA RASKLOPIVOSTI ZASEBNOG SKLOPA GORNJI POKLOPAC (EKTRAN) | 46 |
| 5.1. Osnovne operacije rasklapanja kod sklopa gornji poklopac(ekran) | 47 |
| 5.1.1. Značajke rasklapanja | 47 |
| 5.1.2. Značajke dijelova | 48 |
| 5.1.3. Značajke procesa | 49 |
| 5.2. Osnovni proces ocjenjivanja rasklapanja sklopa gornji poklopac(ekran)..... | 49 |
| 5.3. Odabir koncepta konstrukcije za rasklapanje sklopa gornji poklopac (ekran) | 51 |
| 6. ZAKLJUČAK | 53 |
| 7. LITERATURA..... | 55 |

POPIS KRATICA, OZNAKA I MJERNIH JEDINICA FIZIKALNIH VELIČINA

| Oznaka | Mjerna jedinica | Značenje/Opis |
|-----------------------|-----------------|---|
| C | | stopa uspješnosti koncepta konstrukcije proizvoda za rasklapanje |
| CPU | | eng. <i>Central Processing Unit</i> – središnja jedinica za obradu |
| <i>d</i> | | faktor jednostavnosti rasklapanja u dijagramu jednostavnosti rasklapanja |
| D1 | | prosječan faktor jednostavnosti rastavljanja |
| D2 | % | faktor jednostavnosti rastavljanja |
| D3 | | ukupna ocjena standardnih operacija |
| DAC | | eng. <i>Design Analysis Control</i> – upravljanje analizom oblikovanja |
| DfD | | eng. <i>Design for Disassembly</i> – Oblikovanje za rasklapanje |
| DfEoL | | eng. <i>Design for End-of-Life</i> – Oblikovanje za kraj životnog ciklusa |
| DfR | | eng. <i>Design for Recycling</i> – Oblikovanje za recikliranje |
| eng. | | engleski |
| <i>f</i> | | ukupan rezultat svih značajki |
| <i>f</i> ₁ | | značajke rasklapanja |
| <i>f</i> ₂ | | značajke dijelova |
| <i>f</i> ₃ | | značajke procesa |
| HDMI | | eng. <i>High-Definition Multimedia Interface</i> – multimedijalni međusklop visoke definicije |
| LCD | | eng. <i>Liquid Crystal Display</i> – zaslon s tekućim kristalima |

| | |
|-----------|---|
| <i>n</i> | broj operacija |
| njem. | njemački |
| <i>o</i> | ukupan rezultat standardnih operacija |
| <i>oc</i> | rezultati standardnih operacija koje zadovoljavaju odabrani koncept |
| P | ukupan broj dijelova |
| RAM | eng. <i>Random-Access Memory</i> – radna memorija |
| USB-A | eng. <i>Universal Serial Bus-A</i> – univerzalna serijska sabirnica – A |
| USB-C | eng. <i>Universal Serial Bus-C</i> – univerzalna serijska sabirnica – C |
| VA | eng. <i>Value Analysis</i> – analiza vrijednosti |
| VDI | njem. <i>Verein Deutscher Ingenieure</i> – Udruga njemačkih inženjera |
| <i>z</i> | koordinatna os |

POPIS SLIKA

| | |
|---|----|
| Slika 1. Hijerarhijsko modeliranje proizvoda [5]..... | 6 |
| Slika 2. I/ILI graf [6]..... | 6 |
| Slika 3. Osnovni elementi Petrijeve mreže (a) oznaka; (b) mjesto; (c) prijelaz; (d) luk [7]..... | 7 |
| Slika 4. Framework Laptop 16 [8]..... | 8 |
| Slika 5. Vrste rasklapanja..... | 10 |
| Slika 6. Primjer osnovne operacije – vijak..... | 12 |
| Slika 7. Orijentacije dijela tijekom rasklapanja | 13 |
| Slika 8. Simboli dijelova | 21 |
| Slika 9. Simboli za orijentaciju | 22 |
| Slika 10. Prijenosno računalo Dell Inspiron N5010..... | 26 |
| Slika 11. Dijelovi sklopa prijenosno računalo: 1. donja ploča s poklopcem, 2. baterija, 3. poklopac, 4. optički pogon, 5. tipkovnica, 6. ploča za naslon ruku, 7. zvučnici, 8. tvrdi disk, 9. kabel ekrana, 10. vijci | 28 |
| Slika 12. Zone uspješnosti konstrukcije proizvoda za rasklapanje | 37 |
| Slika 13. Dijelovi sklopa matična ploča: 1. procesor, 2. radna memorija, 3. Wi-Fi kartica, 4. Bluetooth modul, 5. ventilator i hladnjak, 6. matična ploča | 39 |
| Slika 14. Dijelovi sklopa gornji poklopac(ekran): 1. ploča s logom, 2. vanjski plastični okvir, 3. šarka ekrana, 4. limeni okvir ekrana, 5. LCD ekran, 6. kamera..... | 46 |

POPIS TABLICA

| | |
|---|----|
| Tablica 1. Vrste rasklapanja | 11 |
| Tablica 2. Vrste orijentacije i njihovo vrednovanje | 13 |
| Tablica 3. Ostale značajke rasklapanja i njihovo vrednovanje | 13 |
| Tablica 4. Značajke dijelova i njihovo vrednovanje | 15 |
| Tablica 5. Značajke procesa i njihovo vrednovanje | 16 |
| Tablica 6. Tolerancije..... | 18 |
| Tablica 7. Bodovanje kod posebnih pravila za dimenzije, masu i temperaturu..... | 20 |
| Tablica 8. Ciljevi rasklapanja..... | 21 |
| Tablica 9. Primjer tablice osnovnog ocjenjivanja | 24 |
| Tablica 10. Značajke dijelova za sklop prijenosno računalo | 31 |
| Tablica 11. Cilj i opseg rasklapanja prijenosnog računala..... | 32 |
| Tablica 12. Tablica DAC za sklop prijenosno računalo..... | 33 |
| Tablica 13. Osnovni koncepti konstrukcija za rasklapanje | 35 |
| Tablica 14. Postotci postignuća koncepta | 36 |
| Tablica 15. Značajke dijelova za sklop matična ploča..... | 41 |
| Tablica 16. Cilj i opseg rasklapanja sklopa matična ploča | 42 |
| Tablica 17. DAC tablica za sklop matična ploča | 43 |
| Tablica 18. Značajke dijelova za sklop gornji poklopac(ekran) | 48 |
| Tablica 19. Cilj i opseg rasklapanja sklopa gornji poklopac(ekran) | 49 |
| Tablica 20. Tablica DAC za gornji poklopac..... | 50 |

1. UVOD

U današnjem svijetu, gdje tehnologija brzo napreduje, korisnici se svakodnevno susreću s potrebom zamjene i nadogradnje elektroničkih uređaja. Među tim uređajima, prijenosna računala zauzimaju posebno mjesto zbog svoje široke upotrebe u poslovnom, obrazovnom i privatnom životu. No, s porastom broja prijenosnih računala dolazi i do povećanja količine elektroničkog otpada. Važno je razumjeti značaj pravilnog rasklapanja dotrajalih proizvoda, a posebice prijenosnih računala, zbog nekoliko ključnih razloga.

Prvo, pravilno rasklapanje omogućava učinkovito recikliranje vrijednih materijala kao što su zlato, srebro, bakar i plastika. Elektronički uređaji sadrže brojne rijetke i dragocjene materijale koji se mogu ponovno koristiti u proizvodnji novih proizvoda. Recikliranjem tih materijala se smanjuje potrebu za rudarenjem i ekstrakcijom sirovina, čime se štiti okoliš i smanjuje emisija stakleničkih plinova. Prema izvještaju Global E-waste Monitora iz 2020. godine, godišnje se generira oko 53,6 milijuna tona elektroničkog otpada, a prijenosna računala čine značajan dio tog otpada [1].

Drugo, pravilno zbrinjavanje elektroničkog otpada sprječava onečišćenje okoliša. Elektronički uređaji sadrže opasne tvari kao što su olovo, živa i kadmij, koje mogu štetno djelovati na tlo i vodu ako se ne zbrinu na odgovarajući način. Rasklapanjem i pravilnim recikliranjem smanjuje se rizik od onečišćenja i pridonosi očuvanju zdravlja ekosustava. Prema studiji iz 2019. godine, 82,6 % globalnog elektroničkog otpada nije pravilno reciklirano, što predstavlja ozbiljan rizik za okoliš [2].

Treće, pravilno rasklapanje dotrajalih prijenosnih računala može stvoriti nove gospodarstvene mogućnosti. Industrija reciklaže elektroničkog otpada stvara radna mjesta i potiče razvoj novih tehnologija za efikasniju obradu otpada. Na primjer, procjenjuje se da bi pravilno upravljanje elektroničkim otpadom moglo stvoriti dodatnih 13 milijuna radnih mjesta

do 2030. godine [3]. Na taj način, ne samo da se doprinosi održivosti okoliša, već se i jača gospodarstvo.

Konačno, edukacija i svijest o važnosti pravilnog zbrinjavanja elektroničkog otpada ključne su za buduće generacije. Promicanjem odgovornog ponašanja prema dotrajalim uređajima, potiču se ljudi na razmišljanje o održivosti i očuvanju resursa za budućnost.

2. POSTUPCI ZA PROCJENU RASKLOPIVOSTI PROIZVODA

Rasklopivost proizvoda odnosi se na sposobnost proizvoda da se rastavi na sastavne dijelove, čime se olakšava popravak, reciklaža i ponovna upotreba. Procjena rasklopivosti postala je ključan aspekt u razvoju održivih proizvoda, zbog rastućih ekoloških i ekonomskih pritisaka. Ovaj proces igra ključnu ulogu u fazama konstrukcije, proizvodnje i krajnje uporabe proizvoda, omogućujući proizvođačima da analiziraju jednostavnost rasklapanja proizvoda.

Postojeći postupci za procjenu rasklopivosti uključuju razne metode i alate. Neke od tih metoda jesu:

- Analiza vrijednosti rasklapanja (eng. *Value Analysis Tear-down*, kraće *VA Tear-down*)
- Oblikovanje proizvoda za rasklapanje (eng. *Design For Disassembly – DfD*)
- Oblikovanje proizvoda za recikliranje (eng. *Design For Recycling – DfR*)
- Oblikovanje proizvoda za kraj životnog ciklusa (eng. *Design for End-of-Life – DfEoL*)
- Sonyjeva metoda analize rasklopivosti proizvoda (Metoda DAC).

Ovi alati pomažu konstruktorima proizvoda analizirati složenost, troškove i vrijeme potrebno za rasklapanje, čime se doprinosi stvaranju održivijih i ekonomičnijih proizvoda, smanjujući ekološki otisak i povećavajući učinkovitost resursa.

2.1. Analiza vrijednosti rasklapanja

Analiza vrijednosti rasklapanja (eng. *Value Analysis Tear-down*, skraćeno *VA Tear-down*) metoda je usporedbene analize u kojoj se konkurentni rasklopljeni proizvodi, sustavi, komponente i podaci vizualno uspoređuju; njihove funkcije se određuju, analiziraju i evaluiraju kako bi se poboljšale karakteristike dodane vrijednosti projekta koji se proučava [4].

Metoda VA Tear-down pruža način da se dobije više od same usporedbe fizički rastavljenih dijelova. Korištenjem tehnika vrijednosne analize sustavno i analitički se mogu razumjeti problemi i otkriti prilike za poboljšanja. VA Tear-down metoda se pokazala učinkovita za reverzibilno inženjerstvo, razvoj novih proizvoda, modifikaciju modela te analizu konkurencije.

Osnovni koraci VA Tear-down metode jesu: selekcija, rasklapanje, analiza, prikaz i ispitivanje. Ovi koraci se provode kako bi se postiglo poboljšanje proizvoda i smanjenje troškova, tako da se temeljito analizira i uspoređi proizvod tvrtke s onima od konkurencije. Korak analize je najizazovniji i ključan za postizanje željenog rezultata, ali bez odgovarajuće pripreme nije moguće prijeći na analizu [4].

Prije prvog koraka izvodi se planiranje koje uključuje odabir proizvoda konkurencije za usporedbu, definiranje opsega analize i postavljanje jasnih ciljeva. Zatim se izvodi selekcija konkurentskih proizvoda koji su u skladu s ciljevima istraživanja. Ovaj korak je ključan za osiguranje relevantnih usporedbi. Uključuje odabir tržišnih lidera, izravnih konkurenata i proizvoda iz drugih industrija radi poticanja inovacija. Potom se sustavno rasklapaju proizvodi i cijeli postupak rasklapanja se dokumentira fotografijama, videozapisima i skicama. Time se osigurava točno bilježenje svih detalja i zapažanje jedinstvenih karakteristika metoda sastavljanja. Rastavljanje komponente se zatim analiziraju kako bi se identificirali prednosti i nedostaci. Fokus je na razlikama u radnim satima, vrstama i broju dijelova za učvršćivanje te lakoći sastavljanja ili rasklapanja. Koriste se vizualna pomagala kao što su fotografije i skice za podršku u analizi. Isto tako se prikupljaju i dodatne informacije izvan samog rasklapanja. To uključuje povijesne zapise o kvarovima proizvoda, potencijalne strukturne slabosti te uvide u nove materijale ili procese koji bi mogli biti korisni. Organiziraju se i prikazuju rastavljene komponente i rezultati analize na način koji je jednostavan za razumijevanje. Koriste se jasna

označavanja, označavanje bojom i strategije rasporeda za isticanje razlika i olakšavanje generiranja ideja za poboljšanje. Osigurava se da prikaz bude pristupačan i informativan za sve uključene sudionike. Ovi koraci osiguravaju strukturirani pristup usporedbi proizvoda i identificiranju prilika za poboljšanje i smanjenje troškova[4].

Prednosti VA Tear-Downa uključuju doprinos ciljevima plana dobiti i prodaje, razvoj timova za rješavanje problema, primjenu kreativnog razmišljanja i bolje razumijevanje vrijednosti prema kupcu.

Metoda VA Tear-down je moćan alat za tvrtke koje žele poboljšati svoje proizvode učeći od svojih konkurenata. Sustavnom analizom različitih aspekata konkurentskih proizvoda, tvrtke mogu otkriti vrijedne uvide i prilike za poboljšanje, što dovodi do boljih, konkurentnijih proizvoda.

2.2. Oblikovanje proizvoda za rasklapanje

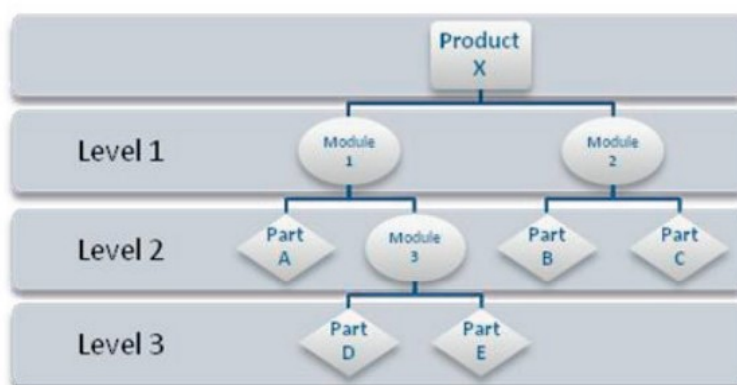
Oblikovanje proizvoda za rasklapanje (eng. *Design For Disassembly* – DfD) je metoda koja pri oblikovanju proizvoda stavlja naglasak na što jednostavniju demontažu. S jednostavnom demontažom se omogućuje lakši pristup dijelovima za popravak, učinkovito odvajanja materijala u svrhu recikliranja, te pristup komponentama za ponovnu upotrebu i proizvodnju.

Proizvodi oblikovani za laku demontažu i ponovnu proizvodnju mogu ostvariti znatno veće uštede u usporedbi s ponovnom proizvodnjom proizvoda koji nisu projektirani s tom svrhom.

Temeljni zahtjevi ove metode su [5]:

- Pojednostavljenje metoda spajanja komponenti
- Dati prednost glavnim komponentama koje se mogu obnoviti i ponovno koristiti
- Zaštititi ključne dijelove od oštećenja, korozije i drugih štetnih utjecaja koji ugrožavaju njihovu ponovnu uporabu
- Uporaba metode u ranijim fazama oblikovanja proizvoda.

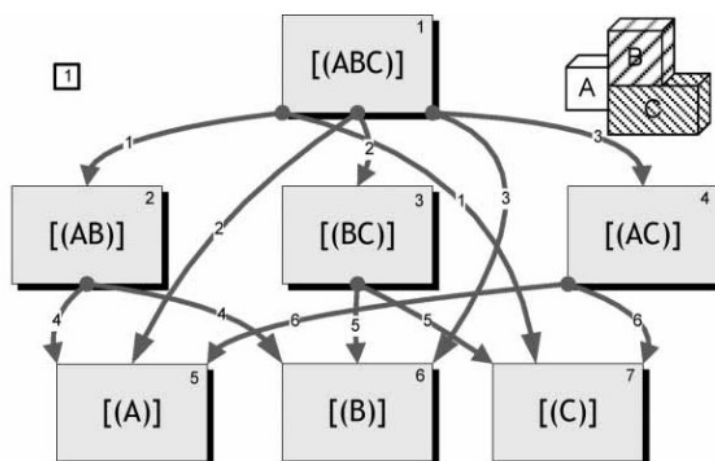
Istraživači su predložili različite metodologije rasklapanja, uglavnom temeljene na hijerarhijskom modularnom modeliranju proizvoda za planiranje slijeda rasklapanja. U mnogim slučajevima, proizvod se može rastaviti na nekoliko sklopova, a ti sklopovi na daljnje sklopove, dijelove i komponente odnosno konačno na dijelove i komponente. Svaki sklop se može smatrati modulom, čime se formira hijerarhijsko stablo proizvoda.



Slika 1. Hijerarhijsko modeliranje proizvoda [5]

Neki od matematičkih modela su I/ILI grafovi i Petrijeve mreže. S modelima se uspostavljaju veze između sklopova, dijelova i komponenata te mogući putevi rasklapanja proizvoda u pojedinačne dijelove.

I/ILI graf se koristi u DfD metodi kako bi se predstavili svi mogući putevi za rasklapanje proizvoda. Čvorovi u grafu predstavljaju sklopove, a veze (nazvane hiperlukovi) pokazuju izvedive korake rasklapanja (Slika 2.) [6].



Slika 2. I/ILI graf [6]

Ilustrirajući različite načine na koje se komponente mogu odvojiti, I/ILI graf pomaže identificirati optimalne puteve za rasklapanje na temelju kriterija poput vremena, troškova i ponovne uporabe dijelova [6]. Ovaj strukturirani pristup osigurava učinkovito i efektivno rasklapanje, olakšavajući održavanje, recikliranje i ponovnu uporabu dijelova.

Petrijeve mreže se koriste u DfD metodi za analiziranje puteva rasklapanja proizvoda kao i kod I/ILI grafa. No, ovaj matematički model se najviše koristi kada proizvod ima kompleksan I/ILI graf. Mreže se sastoje od mjesta (koja predstavljaju stanja), prijelaza (koji predstavljaju radnje), oznaka (koje označavaju prisutnost komponenti) i lukova (koji pokazuju odnose) [7].



Slika 3. Osnovni elementi Petrijeve mreže (a) oznaka; (b) mjesto; (c) prijelaz; (d) luk [7]

Petrijeve mreže mogu [7]:

- Modelirati slijed rasklapanja, predstavljajući korake i uvjete za rasklapanja.
- Obraditi istodobne radnje, omogućujući modeliranje paralelnih koraka rasklapanja koji se mogu odvijati istovremeno.
- Osigurati sinkronizaciju, uočavanjem ovisnosti gdje određene radnje moraju biti dovršene prije nego što druge mogu započeti.
- Analizirati puteve kako bi se identificirali zastoji i neefikasnosti simuliranjem različitih putova rasklapanja.

Petrijeve mreže obrađuju složene ovisnosti i pomažu optimizirati procese rasklapanja, osiguravajući učinkovitost i optimizaciju resursa.

Primjena metode DfD može se vidjeti u kompaniji Framework [8] gdje su njihovi proizvodi oblikovani s naglaskom na održivost, popravljivost i imaju mogućnost nadogradnje. Njihovo prijenosno računalo Framework Laptop 16 omogućuje korisnicima zamjenu ili nadogradnju ključnih komponenti kao što su baterija, pohrana, memorija, matična ploča i tipkovnica. Laptop ima prilagodljive portove kroz ekspanzijske kartice poput USB-C, USB-A, HDMI, DisplayPort i MicroSD. Kompanija nastoji koristiti reciklirane materijale i nastoji smanjiti elektronički otpad (Slika 4.).



Slika 4. Framework Laptop 16 [8]

Još jedan primjer primjene metode DfD je mobilni telefon Fairphone [9] koji je isto tako oblikovan da je lako rastavljiv i održiv. Komponente poput baterije, zaslona, kamere i raznih unutarnjih modula lako se mogu zamijeniti ili nadograditi od strane korisnika. Davanjem prioriteta modularnosti, korištenju recikliranih materijala i transparentnosti, Fairphone nastoji smanjiti elektronički otpad i promovirati održiviju i etičniju industriju tehnologije.

2.3. Oblikovanje proizvoda za recikliranje

Oblikovanje proizvoda za recikliranje (eng. *Design for Recycling – DfR*) je metoda koja za cilj ima olakšati recikliranje proizvoda na kraju njegovog životnog vijeka. Metoda ima iste značajke kao i metoda oblikovanja proizvoda za rasklapanje, ali s posebnim naglaskom na odabir materijala i određivanje njihove stope recikliranja. Isto tako ističe važnost oblikovanja recikliranih materijala u nove proizvode, što ne samo da produžuje životni ciklus materijala, nego i podržava kružnu ekonomiju. Njemačka udruga Verein Deutscher Ingenieure (VDI) uspostavila je smjernice za oblikovanje proizvoda za recikliranje u standardu VDI2243. Smjernice su klasificirane u tri faze: reciklaža tijekom proizvodnje, tijekom upotrebe i nakon upotrebe [10].

Neke od glavnih smjernica DfR jesu [11]:

- Smanjiti broj različitih materijala.
- Koristiti kompatibilne materijale u sklopovima.
- Koristiti reciklabilne i reciklirane materijale.
- Jasno označiti opasne dijelove za lakše uklanjanje.
- Koristiti jednostavne i lako dostupne spojne elemente.
- Prednost dati spojnim elementima koji ne trebaju ljepila.
- Smanjiti broj dijelova.

Primjeri primjene DfR mogu se naći u različitim industrijama, gdje se ova filozofija koristi za smanjenje otpada i poboljšanje reciklabilnosti proizvoda. Jedan od primjera primjena su Nikeove Flyknit tenisice. Flyknit tehnologija pređe i tkanine koje se precizno režu, čime se smanjuje otpad u procesu proizvodnje. Isto tako dizajn omogućuje lakše rastavljanje materijala na kraju životnog vijeka tenisica, a mnogi materijali korišteni u Flyknit tenisicama su reciklirani.

2.4. Oblikovanje proizvoda za kraj životnog ciklusa

Oblikovanje proizvoda za kraj životnog ciklusa (eng. *Design for End-of-Life – DfEoL*) je metoda koja obuhvaća i smjernice metode DfD, i metode DfR te je još zovu krovnim pojmom svih metoda koje se odnose na rasklapanje proizvoda u svrhu njegove održivosti. Cilj ove metode je smanjiti negativan utjecaj na okoliš i maksimalno iskoristiti resurse kroz strategije poput ponovne uporabe, reciklaže i obnove [11].

2.5. Sonyjeva metoda analize rasklopivosti proizvoda

Metodu DAC (eng. *Design Analysis Control* – upravljanje analizom dizajna) razvila je tvrtka Sony 1984. godine u Japanu pod vodstvom Yasuyukija Yamagiwe. Ova metoda ima za cilj procjenu učinkovitosti sklapanja i rasklapanja proizvoda prije njegove proizvodnje, kako bi

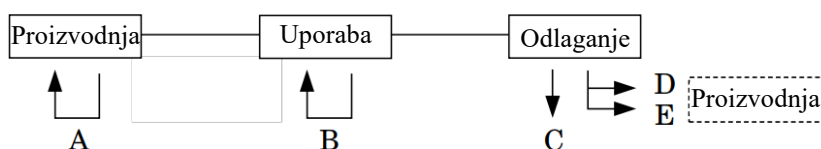
se na temelju te procjene donijela konačna odluka o konstrukciji proizvoda, uzimajući u obzir financijsku isplativost.

DAC metoda razdvaja cijeli proces sklapanja na skupine osnovnih operacija. Svaka osnovna operacija može maksimalno dobiti 100 bodova, pri čemu se bodovi oduzimaju za probleme koji se pojave tijekom sklapanja. Sklopivost radnje opisuju karakteristike dijelova, postupak sklapanja i sam proces.

2.5.1. Vrste rasklapanja

Tijekom životnog vijeka proizvoda, koji uključuje razdoblje od njegove proizvodnje do zbrinjavanja, postoji mnogo situacija u kojima se može provesti postupak rasklapanja. Za svaku vrstu rasklapanja cilj, opseg i ostali čimbenici se razlikuju. Opseg rasklapanja 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.

U ovoj metodi se spominju pet vrsta rasklapanja koja ovise o periodu rasklapanja kao što se može vidjeti na slici 5.



Slika 5. Vrste rasklapanja

Tablica 1. prikazuje sve vrste rasklapanja koje ovise o vremenu rasklapanja, kao i njihove ciljeve, opsege i ostale čimbenike.

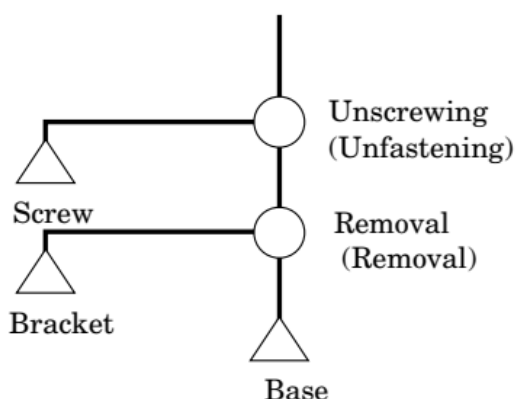
Tablica 1. Vrste rasklapanja

| | A | B | C | D | E |
|-------------------------------|---|---|---|---|--|
| Vrijeme rasklapanja | Tijekom proizvodnje | Tijekom uporabe | Tijekom odlaganja | Tijekom odlaganja | Tijekom odlaganja |
| Cilj rasklapanja | Rasklapanje radi uklanjanja neispravnih dijelova | Rasklapanje radi uklanjanja dijelova koji se mogu servisirati | Rasklapanje radi uklanjanja otrovnih dijelova | Rasklapanje radi dohvata ponovno upotrebljivih dijelova | Rasklapanje radi dohvata ponovno upotrebljivih komponenti (elemenata) iz dijelova |
| Opseg rasklapanja | Rasklapanje radi uklanjanja neispravnih dijelova | Uklanjanje dijelova koji se mogu servisirati | Uklanjanje otrovnih dijelova | Uklanjanje ponovno upotrebljivih dijelova | Segregacija ponovno upotrebljivih komponenti (elemenata) |
| Vrsta rasklapanja | Rasklapanje radi uklanjanja Rasklapanje radi uklanjanja određenog dijela | Rasklapanje radi uklanjanja | Rasklapanje radi uklanjanja | Rasklapanje radi uklanjanja | Segregacijsko rasklapanje Rasklapanje radi odvajanja određenih komponenti (elemenata) |
| Osnovne operacije rasklapanja | Otpuštanje ↓ Uklanjanje ↓ Obrada | Otpuštanje ↓ Uklanjanje ↓ Obrada | Otpuštanje ↓ Uklanjanje ↓ Obrada | Otpuštanje ↓ Uklanjanje ↓ Obrada | Otpuštanje ↓ Uklanjanje ↓ Obrada |

2.5.2. Osnovne operacije

Rasklapanje se odnosi na ponavljano otpuštanje i uklanjanje dijelova te na obradu dijelova prije i poslije izvođenja tih operacija.

Na primjer, u slučaju odvajanja pričvršćenog vijka za držač, trebaju se odvijati dvije operacije: odvrtnanje vijka i uklanjanje vijka (Slika 6.).



Slika 6. Primjer osnovne operacije – vijak

Otpuštanje, uklanjanje i obrada obično su neovisne operacije, ali u posebnim slučajevima otpuštanje i uklanjanje mogu se izvesti istovremeno, kao kod uklanjanja izvlačenjem ili otklapanjem.

2.5.3. Kriteriji ocjenjivanja

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

1. Značajke rasklapanja – procjenjuju jednostavnost s kojom se dio može orijentirati, stegnuti i rasklopiti.
2. Značajke dijelova - uzimaju u obzir oblik i ostale karakteristike prema kojima se procjenjuje jednostavnost rasklapanja
3. Značajke procesa - procjenjuju jednostavnost s kojom se osnovni dio može stegnuti ili okrenuti za sljedeću operaciju.

Značajka rasklapanja

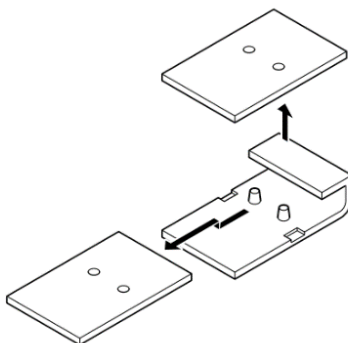
Orijentacija, stezanje i rasklapanje su ključni pojmovi prema kojima se ocjenjuje značajka rasklapanja.

Orijentacija (Tablica 2.) opisuje jednostavnost orijentiranja dijela po z-osi prilikom uklanjanja dijela ili izvođenja druge operacije rasklapanja. Stezanje (Tablica 3., nastavlja se na narednoj stranici) opisuje potrebu za učvršćivanjem osnovnog dijela tijekom rasklapanja. Rasklapanje (Tablica 3.) opisuje lakoću odnosno težinu rasklapanja dijela te ima ocjenu za svaku pojedinačnu operaciju.

Tablica 2. Vrste orijentacije i njihovo vrednovanje

| | | |
|--------------|----|--|
| ORIJENTACIJA | 0 | – Orijehtacija prema gore |
| ORIJENTACIJA | 10 | – Orijehtacija prema gore |
| ORIJENTACIJA | 20 | – Orijehtacija dijagonalno ili zakrivljeno gibanje |

Slika 7. prikazuje primjere orijentacije dijelova tijekom rasklapanja.



Slika 7. Orijehtacije dijela tijekom rasklapanja

Tablica 3. Ostale značajke rasklapanja i njihovo vrednovanje

| | | |
|------------|----|--|
| STEZANJE | 0 | – Nije potrebno stezanje tijekom rasklapanja |
| STEZANJE | 10 | – Potrebno je stezanje |
| UKLANJANJE | 0 | – Normalno uklanjanje |

| | | |
|--------------------|----|---|
| UKLANJANJE | 10 | – Posebno uklanjanje (na primjer: uklanjanje u više koraka, višestruka istovremena uklanjanja) |
| UKLANJANJE | 20 | – Uklanjanje fleksibilnih ili mekih dijelova (na primjer uklanjanje žice) |
| IZVLAČENJE | 20 | – Moguće uklanjanje izvlačenjem (na primjer uklanjanje priključka) |
| ODVIJANJE | 20 | – Normalno odvijanje |
| ODVIJANJE | 30 | – Specijalno odvijanje (na primjer vijak s ravnim prorezom) |
| ISKOČNO UKLANJANJE | 10 | – Normalno iskočno uklanjanje |
| ISKOČNO UKLANJANJE | 20 | – Specijalno iskočno uklanjanje (na primjer tri ili više takvih mehanizama, udaljenost 50mm ili više) |
| ISKOČNO UKLANJANJE | 50 | – Dio za iskočno uklanjanje je skriven |
| REZANJE | 10 | – Rezanje žice |
| REZANJE | 20 | – Specijalno rezanje |
| ODVAJANJE | 10 | – Normalno odvajanje (na primjer djelomično odvajanje) |
| ODVAJANJE | 20 | – Specijalno odvajanje (na primjer potpuno odvajanje) |
| SAVIJANJE | 20 | – Normalno savijanje |
| SAVIJANJE | 30 | – Specijalno savijanje (na primjer uz dovođenje topline) |
| ODLJEPLJIVANJE | 30 | – Odljepljivanje |

Značajke dijelova

Kod značajki dijelova (Tablica 4.) uklanjanje i odabir su ključni pojmovi kojima se značajka ocjenjuje.

Uklanjanje opisuje jednostavnost hvatanja i pomicanja dijelova, a odabir opisuje jednostavno sortiranje i razvrstavanje materijala od dijelova.

Tablica 4. Značajke dijelova i njihovo vrednovanje

| | | |
|------------|----|---|
| UKLANJANJE | 0 | – Jednostavan prihvrat i uklanjanje |
| UKLANJANJE | 10 | – Otežan prihvrat i uklanjanje (na primjer: lijepljeni dijelovi, osjetljivi na prljavština ili ogrebotine i deformacije) |
| ODABIR | 0 | – Jednostavno razvrstavanje |
| ODABIR | 20 | – Otežano razvrstavanje |

Značajke procesa

Stezanje i okretanje su ključni pojmovi prema kojima se ocjenjuju značajke procesa.

Stezanje opisuje postupak držanja dijela nakon rastavljanja unutar osnovnog dijela kako bi se pripremio za sljedeći korak u procesu rasklapanja. Okretanje opisuje postupak okretanja ili zakretanja osnovnog dijela kako bi se pripremio za sljedeći korak u procesu rasklapanja.

Tablica 5. Značajke procesa i njihovo vrednovanje

| | | |
|-----------|----|--------------------------------------|
| STEZANJE | 0 | – Stezanje nije potrebno |
| STEZANJE | 10 | – Potrebno je stezanje |
| OKRETANJE | 0 | – Nije potrebno okretanje |
| OKRETANJE | 10 | – Okrenuto za manje ili jednako 90° |
| OKRETANJE | 20 | – Okrenuto za manje ili jednako 180° |

2.5.4. Pravila ocjenjivanja

Pravila ocjenjivanja se mogu podijeliti u dvije vrste:

1. Temeljna pravila
2. Posebna pravila za specifične primjene.

Postoje posebna pravila koja se odnose na dimenzije, masu i temperaturu dijelova i proizvodne opreme. Ova pravila se određuju neovisno i u skladu s korisnikovim okruženjem.

Temeljna pravila

Osnovne operacije:

1. Dovod proizvoda se gleda kao početna osnovna operacija.
2. Uklanjanje osnovnog dijela je osnovna operacija.
3. Kada se uklanja dio i istovremeno se otpušta drugi dio, uklanjanje tog dijela se smatra osnovnom operacijom.
4. Sva ispitivanja, prilagodbe i ostale operacije smatraju se odvojenim osnovnim operacijama.

5. Ako ljepilo ili drugi faktori onemoguće rastavljanje dijela, u grafikon ocjenjivanja se unosi naziv proizvoda i smatra se kao osnovna operacija.
6. Ponavljanje jedne radnje na dijelu smatra se kao jedna osnovna operacija.

Značajke rasklapanja:

1. Za rasklapanje koje uključuje orijentaciju kao dio operacije (na primjer uklanjanje opruge) ili za rasklapanje koje ne uključuje orijentaciju (na primjer sušenje, ispiranje), ne provodi se ocjenjivanje orijentacije za operacije na gornjoj površini.
2. Kada postoji više od jednog stezanja u jednoj osnovnoj operaciji, maksimalno dopušten broj stezanja je 2.
Na primjer, ako imamo stezanje na dva mjesta: $\text{stezanje} = 10 \text{ bodova} \times 2 = 20$;
na tri mjesta: $\text{stezanje} = 10 \text{ bodova} \times 2 = 20$
3. Kod kontinuiranog stezanja, ocijeniti svaku osnovnu operaciju dok se stezanje ne ukloni.
4. Ne treba ocjenjivati stezanje za osnovne dijelove ako dođe do neusklađenosti u praktičnoj upotrebi.
5. Ako postoji operacija izvlačenja ili iskočnog uklanjanja, procijenite značajke rastavljanja dodavanjem bodova za otpuštanje i izvlačenje ili iskočno uklanjanje. Međutim, ne dodaju se bodovi za male pakirne predmete.
6. Kod djelomičnog otpuštanja vijaka, rezultate dobivene putem značajki rasklapanja treba prepoloviti.

Značajke procesa:

1. Kada postoji više od jednog stezanja, značajke procesa ispituju se množenjem s dva (uz maksimalno dozvoljeno stezanje).
Stezanje na dva mjesta: značajke procesa $\text{stezanje} = 10 \text{ bodova} \times 2 = 20$; na tri mjesta ili više: značajke procesa $\text{stezanje} = 10 \text{ bodova} \times 2 = 20$.
2. Kada postoji kontinuirano stezanje, procjenjuje se svaka osnovna operacija dok se stezanje ne ukloni.

Ostalo:

1. Za nabavu proizvoda procjenjuju se samo Značajke dijelova i Značajke obrade, pri čemu se za Značajke dijelova koriste pokazatelji jednostavnosti montaže.
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.

Posebna pravila

Ova pravila se odnose na dimenzije, masu i temperaturu dijelova. Rasponi tolerancija za dimenzije, masu i temperaturu mogu se postaviti za sve dijelove u procesu rasklapanja. U tablici 6. su primjeri postavljenih tolerancija.

Tablica 6. Tolerancije

| | |
|----------------------|-------------------------|
| Minimalne dimenzije | $\geq 1 \text{ mm}$ |
| Maksimalne dimenzije | $\leq 150 \text{ mm}$ |
| Masa | $\leq 2 \text{ kg}$ |
| Temperatura | $\leq 50^\circ\text{C}$ |

Čak i ako svi dijelovi korišteni u proizvodu pređu te 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 stegnuti dio prelazi ograničenje mase, dodaje se 10 bodova značajkama rasklapanja (stezanje). Međutim, bodovi se ne dodaju ukoliko se stezanje odvija na gornjoj površini na kojoj je masa nevažna.
2. Ako stegnuti dio prelazi temperaturnu granicu, dodaje se 10 bodova značajkama rasklapanja (stezanje). Međutim, bodovi se ne dodaju ukoliko se stezanje 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 stegnuti dio prelazi granicu mase, dodaje se 10 bodova značajkama procesa. Međutim, bodovi se ne dodaju ukoliko se stezanje odvija na gornjoj površini na kojoj je masa nevažna.
2. Ako osnovni dio prelazi granicu mase i bit će okrenut tijekom procesa, dodaje se 10 bodova značajkama procesa.
3. Ako stegnuti dio prelazi temperaturnu granicu, dodaje se 10 bodova značajkama procesa.

Tablica 7. prikazuje dodavanje bodova značajkama jer dijelovi koji se promatraju ne zadovoljavaju tolerancije zadavane u tablici 6.

Tablica 7. 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 | |

2.5.5. 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.

Proces ocjenjivanja

Korak (1) je unošenja simbola (slova) koji označavaju cilj rasklapanja. Simboli se mogu vidjeti u tablici 8.

Tablica 8. Ciljevi rasklapanja

| Cilj rasklapanja | Simbol |
|---|--------|
| Rasklapanje proizvoda tijekom njegove proizvodnje kako bi se uklonili neispravni dijelovi. | A |
| Rasklapanje tijekom korištenja proizvoda kako bi se uklonili dijelovi koji se mogu servisirati. | B |
| Rasklapanje proizvoda tijekom odlaganja kako bi se uklonili otrovni dijelovi. | C |
| Rasklapanje proizvoda tijekom odlaganja kako bi se dohvatili dijelovi koji se mogu ponovno koristiti. | D |
| Rasklapanje dijela tijekom odlaganja kako bi se dohvatile komponente koje se mogu ponovno koristiti. | E |

*Napomena: Ako postoji više ciljeva , potrebno ih je sve navesti.

Korak (2) je upisati raspon ciljeva.

- 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 operacija.

Korak (4) je unos broja dijelova za rastavljanje i simbola dijelova(Slika 8.).

- 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 je cilj E, unose se simboli za pričvršćene dijelove kao što su vijci i sigurnosni prsteni te dijelove za recikliranje.

Pričvršćeni dijelovi



Dijelovi za uklanjanje

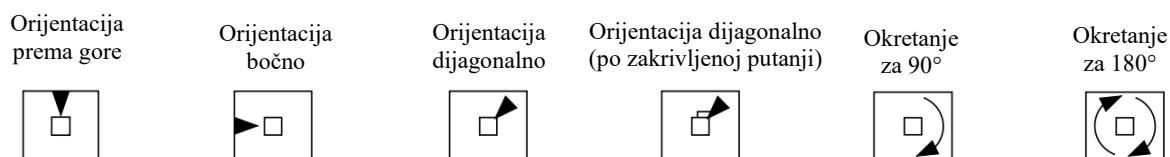


Dijelovi za recikliranje



Slika 8. Simboli dijelova

Korak (5) je unos simbola koji označavaju smjer rasklapanja i orijentaciju proizvoda (Slika 9.).



Slika 9. 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.

Ukupni 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 operacija.

Korak (11) je izračunavanje i unos faktora jednostavnosti rasklapanja.

Faktori jednostavnosti rasklapanja:

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

*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) je, nakon popunjavanja dijagrama jednostavnosti rasklopivosti, računa se i unosi ukupni rezultat ocjenjivanja u tablicu (Tablica 9.)

Prosječan faktor jednostavnosti rasklapanja:

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

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 operacija:

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

Ukupan broj dijelova za rasklapanje:

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

Tablica 9. prikazuje primjer tablice DAC kod osnovnog ocjenjivanja (zanemaruju se strelice koje prelaze preko tablice).

Tablica 9. Primjer tablice osnovnog ocjenjivanja

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

Interpretacija rezultata metode DAC

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.

2.5.6. Procjena ciljeva i analize

Procjena ciljeva i analiza uključuje prikupljanje podataka za procjenu specifičnih ciljeva i osnovnih podataka.

Postoje četiri vrste ciljeva:

1. Procjena stope postignuća koncepta konstrukcije
2. Izračun poboljšanog vremena rasklapanja
3. Analiza redoslijeda rastavljanja

4. Druge procjene i analize.

Procjena koncepta konstrukcije procjenjuje je li svaka osnovna operacija postigla ciljeve postavljene unaprijed u konceptu rasklapanja. Koristi se za određivanje jasnog konstrukcijskog koncepta i uvida u njegovu učinkovitost.

Poboljšano vrijeme rastavljanja može se procijeniti izračunavanjem vremena rasklapanja na temelju ukupnog rezultata za standardne operacije postignutog tijekom osnovne procjene. Ovo je korisno za dobivanje uvida u poboljšano vrijeme rasklapanja u fazama kada postoji malo informacija o dizajnu.

Analiza redoslijeda rasklapanja koristi simbole za označavanje osnovnih operacija koje imaju visoki prioritet za promjene redoslijeda rasklapanja. Također se analiza redoslijeda rasklapanja koristi za unaprjeđenje redoslijeda rasklapanja [12].

3. PROCJENA RASKLOPIVOSTI PRIJENOSNOG RAČUNALA

Metoda DAC je primijenjena za procjenu rasklopivosti prijenosnog računala modela Dell Inspiron N5010 (Slika 10.).



Slika 10. Prijenosno računalo Dell Inspiron N5010

Prijenosno računalo je prestalo raditi nakon devet godina korištenja te je potrebno rasklapanje uređaja u svrhu recikliranja. Isto tako prijenosno računalo je sklop koji se sastoji od vrlo mnogo komponenti i zasebnih sklopova. Za svaki taj sklop bi se trebala izvesti posebna analiza metodom DAC. U ovom radu, metoda DAC primijenit će se na sklop prijenosno računalo, sklop matična ploča i sklop gornji poklopac (ekran), a ostali sklopovi poput tvrdog diska, optičkog pogona, i slično neće biti rasklopljeni.

Gabaritne mjere prijenosnog računala jesu:

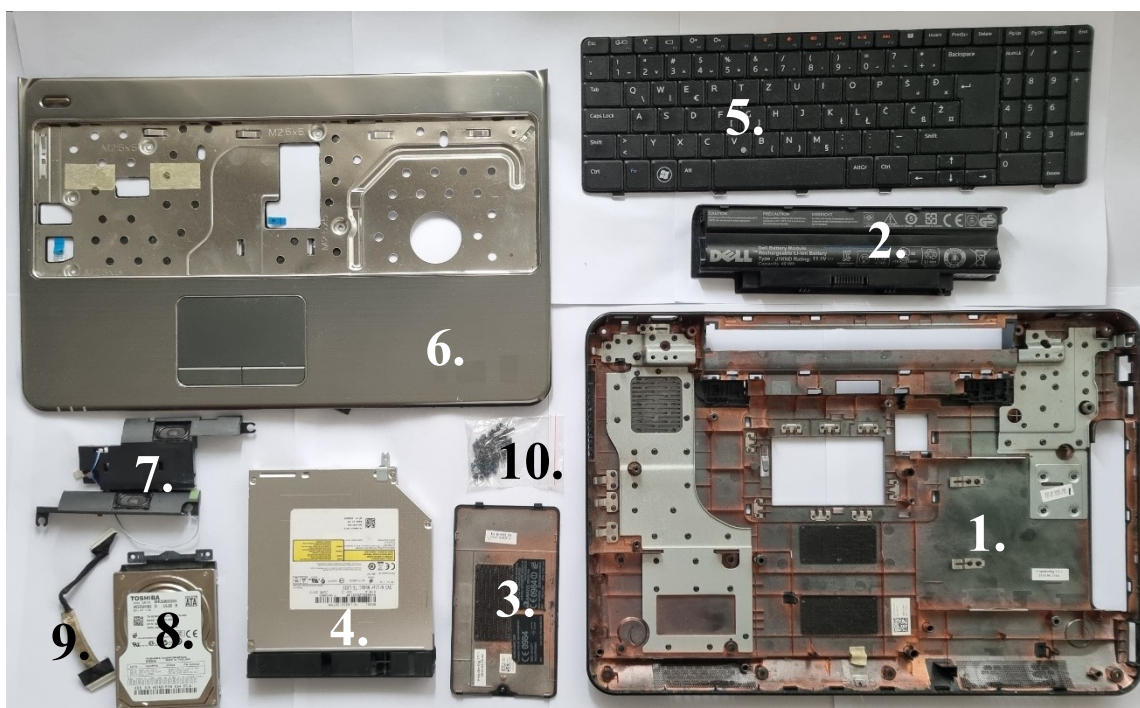
- duljina: 375 mm
- širina: 260 mm
- debljina: 35 mm.

Prijenosno računalo će se gledati kao sklop koji je podijeljen na dva glavna sklopa i ostale dijelove (prvi stupanj rasklapanja). Imena sklopova su matična ploča i gornji poklopac (ekran).

Dijelovi sklopa prijenosno računalo jesu:

1. Donja ploča s poklopcem
2. Baterija
3. Poklopac
4. Optički pogon
5. Tipkovnica
6. Ploča za naslon ruku
7. Zvučnici
8. Tvrdi disk
9. Kabel ekrana
10. Sklop matična ploča
 - 10.1. Procesor
 - 10.2. Radna memorija (RAM), dva komada
 - 10.3. Wi-Fi kartica
 - 10.4. Bluetooth modul
 - 10.5. Ventilator (eng. *fan*) i hladnjak (eng. *heatsink*)
11. Sklop gornji poklopac (ekran)
 - 11.1. Ploča s logom
 - 11.2. Vanjski plastični okvir
 - 11.3. Šarka ekrana, dva komada
 - 11.4. Limeni okvir ekrana
 - 11.5. LCD ekran
 - 11.6. Kamera
12. Vijci, 48 komada unutar čitavog sklopa prijenosno računalo.

Slika 11. prikazuje dijelove prijenosnog računalo od 1. do 9. i vijke. Dok sklopovi matična ploča i gornji poklopac prikazani su na slikama 13. i 14.



Slika 11. Dijelovi sklopa prijenosno računalo: 1. donja ploča s poklopcem, 2. baterija, 3. poklopac, 4. optički pogon, 5. tipkovnica, 6. ploča za naslon ruku, 7. zvučnici, 8. tvrdi disk, 9. kabel ekrana, 10. vijci

Rasklapanje će krenuti sa sklopom prijenosno računalo gdje će osnovni dio biti donja ploča s poklopcem.

Redoslijed rastavljanja za sklop prijenosno računalo jest:

1. Uklanjanje baterije
2. Uklanjanje vijaka s donje ploče s poklopcem
3. Uklanjanje poklopca
4. Uklanjanje optičkog pogona (izvlačenjem)
5. Uklanjanje tipkovnice (iskočno uklanjanje)
6. Uklanjanje vijaka s ploče za naslon ruku
7. Uklanjanje ploče za naslon ruku (iskočno uklanjanje)
8. Uklanjanje tvrdog diska (izvlačenjem)
9. Uklanjanje zvučnika
10. Uklanjanje vijaka koji povezuju donje kućište i gornji poklopac
11. Uklanjanje kabla koji su priključeni na matičnu ploču i gornji poklopac

12. Uklanjanje sklopa gornji poklopac

13. Uklanjanje sklopa matična ploča.

Vijci su spojni elementi što znači da se njima ne dodaje brojčana vrijednost kao ostalim dijelovima sklopa.

3.1. Osnovne operacije rasklapanja kod prijenosnog računala

Jednostavnost rasklapanja svake osnovne operacije procjenjuje se u skladu s tri temeljne značajke konstrukcije.

3.1.1. Značajke rasklapanja

Značajke se ocjenjuju prema ključnim pojmovima kao što su orijentacija, stezanje i rasklapanje.

Tijekom rasklapanja prijenosnog računala, nije potrebno stezanje te se značajka stezanje [*Retain*] ocjenjujem s nula bodova – STEZANJE 0.

Dobava [*Supply*] prijenosnog računala predstavlja prvu operaciju u sklopu značajki rasklapanja – DOBAVA.

Operacija nakon dobave bi bila uklanjanje baterije izvlačenjem [*Pull-out*] te orijentacija [*Orientation*] uklanjanja baterije je bočna – IZVLAČENJE 10 + ORIJENTACIJA 10.

Zatim dolazi uklanjanje vijaka s donje ploče s poklopcem – ODVIJANJE 20.

Prvo se poklopac ukloni – UKLANJANJE 0.

Izvlačenjem [*Pull-out*] se uklanja optički pogon i orijentacija uklanjanja je bočna – IZVLAČENJE 10 + ORIJENTACIJA 10.

Uklanja se tipkovnica, koja se nalazi na ploči za naslon ruku, iskočnim mehanizmom uklanjanja [*Snap-out*] – ISKOČNO UKLANJANJE 20.

Uklanjanje vijaka s ploče za naslon ruku – ODVIJANJE 20.

Iskočno uklanjanje [*Snap-out*] ploče za naslon ruku – ISKOČNO UKLANJANJE 20.

Tvrđi disk se uklanja izvlačenjem [Pull-out] te orijentacija uklanjanja je bočna – IZVLAČENJE 10 + ORIJENTACIJA 10.

Uklanjanju se zvučnici – UKLANJANJE 10.

Uklanjanju se vijci koji povezuju donje kućište i gornji poklopac (ekran) – ODVIJANJE 20.

Uklanjanje kabela koji se priključeni na matičnu ploču i gornji poklopac – UKLANJANJE 20 + IZVAČENJE 10.

Sklop gornji poklopac (ekran) se uklanja – UKLANJANJE 0.

Sklop matična ploča se uklanja iz donje ploče s poklopcem – UKLANJANJE 0.

3.1.2. Značajke dijelova

Odabir i uklanjanje su ključni pojmovi koji opisuju značajke dijelova. U tablici 10. su prikazani svi dijelovi koji se gledaju za bodovanje značajke dijelova.

Tablica 10. Značajke dijelova za sklop prijenosno računalo

| REDNI BROJ DIJELA | IME DIJELA | UKLANJANJE | ZNAČAJKA DIJELOVA | OBJAŠNJENJE REZULTATA OCJENJIVANJA |
|----------------------------------|------------------------------|-------------------|------------------------------|--|
| 1. | Donja ploča s poklopcem | 0 | 0 | Uklanjanje nije otežano |
| 2. | Baterija | 0 | 0 | Uklanjanje nije otežano |
| 3. | Poklopac | 0 | 0 | Uklanjanje nije otežano |
| 4. | Optički pogon | 0 | 0 | Uklanjanje nije otežano |
| 5. | Tipkovnica | 0 | 0 | Uklanjanje nije otežano |
| 6. | Ploča za naslon ruku | 0 | 0 | Uklanjanje nije otežano |
| 7. | Zvučnici | 0 | 0 | Uklanjanje nije otežano |
| 8. | Tvrđi disk | 0 | 0 | Uklanjanje nije otežano |
| 9. | Kabel ekrana | 0 | 0 | Uklanjanje nije otežano |
| 10. | Sklop matična ploča | 10 | 10 | Otežano uklanjanje zbog puno različitih komponenti |
| 11. | Sklop gornji poklopac(ekran) | 0 | 0 | Uklanjanje nije otežano |
| 12. | Vijak | 0 | 0 | Uklanjanje nije otežano |

3.1.3. Značajke procesa

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

Tijekom rasklapanja sklopa prijenosno računalo, nije potrebno stezanje i značajka stezanja se ocjenjuje s nula bodova – STEZANJE 0.

U trenutku uklanjanja baterije i vijaka s donje ploče, sklop prijenosno računalo se mora okrenuti za 180° te značajka okretanja tada se ocjenjuje s 20 bodova – OKRETANJE 20.

3.2. Osnovni proces ocjenjivanja rasklapanja sklopa prijenosno računalo











Prvi korak u ocjenjivanju rasklapanju prijenosnog računala je odrediti cilj i opseg rasklapanja.






Tablica 11. Cilj i opseg rasklapanja prijenosnog računala

| | |
|--------------------|---|
| Naziv proizvoda: | Sklop prijenosno računalo |
| Cilj rasklapanja: | D – Rasklapanje tijekom odlaganja s ciljem dobave dijelova koji se mogu ponovno upotrijebiti. |
| Opseg rasklapanja: | Izdvajanje dijelova sve do ekrana, tvrdog diska, optičkog pogona i sličnog. |

Osnovne operacije i njihovi pripadajući bodovi su uneseni u tablicu 12. za sklop prijenosno računalo te na temelju tih podataka se ispunjava dijagram jednostavnosti rasklapanja. Za bodove 70 ili iznad unutar dijagrama jednostavnosti rasklapanja uzimat će druga boja (svijetlo siva).

Tablica 12. Tablica DAC za sklop prijenosno računalo

| Osnovne operacije | Broj dijelova | Orijentacija rasklapanja | Značajke rasklapanja Or/Re | Značajke dijelova Rem/Sel | Značajke procesa Re/Tu | Ukupan rezultat svih značajki f(1) | Standardna operacije o = f x n | d = 100 - f Dijagram jednostavnosti rasklapanja | | | | | | | | |
|-------------------|---------------|---|---|---------------------------|------------------------|------------------------------------|--------------------------------|--|--|----|----|----|--|----|----|----|
| SUPPLY | |  | | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | | | | | | | | |
| PULL-OUT | 1 |  | <table border="1"> <tr> <td>✓</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">10+10</td> </tr> </table> | ✓ | | 10+10 | | 0 | <table border="1"> <tr> <td></td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td colspan="2">20</td> </tr> </table> | | ✓ | 20 | | 40 | 40 | 60 |
| ✓ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10+10 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ✓ | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| UNSCREW | 20 |  | 20 | 0 | 0 | 20 | 20 | 400 | 80 | | | | | | | |
| REMOVE | 1 |  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | | | | | | | | |
| PULL-OUT | 1 |  | <table border="1"> <tr> <td>✓</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">10+10</td> </tr> </table> | ✓ | | 10+10 | | 0 | <table border="1"> <tr> <td></td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td colspan="2">20</td> </tr> </table> | | ✓ | 20 | | 40 | 40 | 60 |
| ✓ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10+10 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ✓ | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SNAP-OUT | 1 |  | 20 | 0 | 0 | 20 | 20 | 80 | | | | | | | | |
| UNSCREW | 5 |  | 20 | 0 | 0 | 20 | 5 | 100 | 80 | | | | | | | |
| SNAP-OUT | 1 |  | 20 | 0 | 0 | 20 | 20 | 80 | | | | | | | | |
| PULL-OUT | 1 |  | <table border="1"> <tr> <td>✓</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">10+10</td> </tr> </table> | ✓ | | 10+10 | | 0 | 0 | 20 | 20 | 80 | | | | |
| ✓ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10+10 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| REMOVE | 1 |  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|----------|----|---|-------|----|---|----|---|-----|-------|--|--|--|--|
| UNSCREW | 4 |  | 20 | 0 | 0 | 20 | 4 | 80 | 80 | | | | |
| PULL-OUT | 1 |  | 20+10 | 0 | 0 | 30 | | 30 | 70 | | | | |
| REMOVE | 1 |  | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 100 | | | | |
| REMOVE | 1 |  | 0 | 10 | 0 | 10 | | 10 | 90 | | | | |
| REMOVE | 1 |  | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 100 | | | | |
| Σ | 40 | | | | | | | 760 | 1 260 | | | | |

Nakon što se ispuni tablica 12., za sklop prijenosno računalo potrebno je izračunati jednadžbe (4) do (7) (točka 2.5.5).

Prosječan faktor jednostavnosti rasklapanja u ovom sklopu iznosi (4):

$$D1 [\text{bodovi}] = 1\,260/15 = 84. \quad (8)$$

Faktor jednostavnosti rasklapanja koji računamo po jednadžbi (5) iznosi:

$$D2 [\%] = 12/15 * 100 = 80\%. \quad (9)$$

Ukupna ocjena standardnih radnji prema jednadžbi (6) iznosi:

$$D3 [\text{bodovi}] = 760. \quad (10)$$

Ukupan broj dijelova za rasklapanje iznosi (7):

$$P = 40. \quad (11)$$

Kao što je već spomenuto, proizvodi s bodovima u rasponu od 70 do 100 smatraju se lako rasklopivima, pa tako i ovaj **analizirani sklop prijenosno računalo s prosječnim brojem bodova od 84 spada u kategoriju jednostavne rasklopivosti.**

3.3. Odabir koncepta konstrukcije za rasklapanje sklopa prijenosno računalo

Potrebno je odabrati koncepte koji definiraju smjer konstruiranja za jednostavno rasklapanje, pri čemu je moguće odabrati najviše dva koncepta. U tablici 13. su prikazani simboli i značenja svih vrsta koncepta.

Tablica 13. Osnovni koncepti konstrukcija 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. |

Za sklop prijenosno računalo je odabran koncept jednostavno spajanje iz razloga što se postoji mnogo vijaka odnosno vijčanih spojeva i ima dosta uskočnih spojeva. Drugi koncept koji će se još odabrati je jednostavnost dijelova jer nema dijelova koji su osjetljivi na prljavštinu ili ogrebotine.

Naredni korak je izračunavanje stope uspješnosti koncepta:

$C [\%] = \frac{\sum \text{rezultati standardnih operacija koje zadovoljavaju odabrani koncept } o_c}{\sum \text{rezultat standardnih operacija } o}$

Standardne operacije koje zadovoljavaju prvi koncept bi bile UNSCREW i SNAP-OUT, dok drugi koncept zadovoljava operacija REMOVE.

Za parametar o će se koristiti izračunati parametra **D3** za prijenosno računalo.

Iz jednadžbe proizlazi da stopa uspješnosti koncepta iznosi:

$$C = 630 / 760 * 100 = 82,89 \%$$

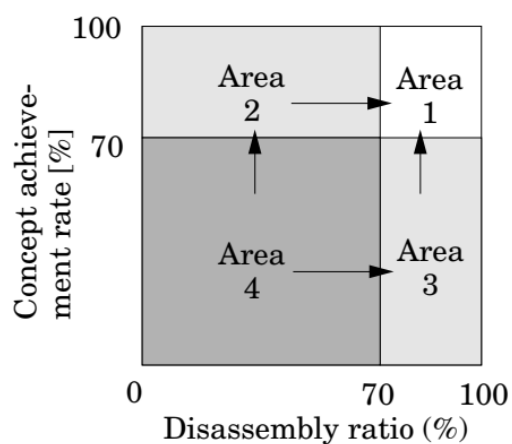
U tablici 14. su prikazani postoci postignuća kriterija koncepta.

Tablica 14. Postotci postignuća koncepta

| | |
|------------|---|
| 70% ~ 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 izmjene u konstrukciji proizvoda. |

Kako se može vidjeti **iz tablice 14., dva odabrana koncepta su u skladu s konstrukcijom sklopa prijenosno računalo.**

Razumijevanje značajki konstrukcije koje olakšavaju rasklapanje može se postići iz rezultata stope uspješnosti koncepta i omjera faktora jednostavnosti rasklapanja. Postoje četiri zone koje pokazuju jesu li zadovoljeni kriteriji jednostavnosti rasklapanja i koncepta konstrukcije za rasklapanje.



Slika 12. Zone uspješnosti konstrukcije proizvoda za rasklapanje

Stavljanjem izračunatih faktora **D2** i **C**, za prijenosno računalo, u graf na slici 12. može se zaključiti da se proizvod nalazi u zoni 1 koja predstavlja **zonu u kojoj su zadovoljeni jednostavnost i koncept rasklapanja**.

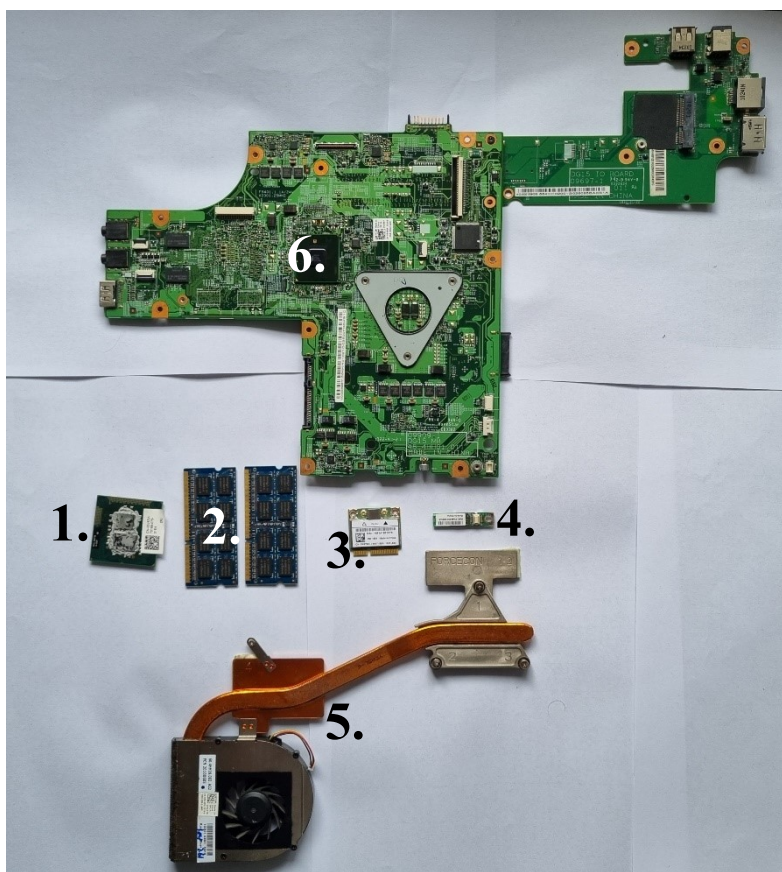
4. PROCJENA RASKLOPIVOSTI SKLOPA MATIČNE PLOČE

Sklop matična ploča je zasebni sklop koji se nalazi unutar sklopa prijenosno računalo modela Dell Inspiron N5010. Matična ploča će se zasebno analizirati primjenom metode DAC.

Dijelovi sklopa matična ploča jesu:

1. Procesor
2. Radna memorija (RAM), dva komada
3. Wi-Fi kartica
4. Bluetooth modul
5. Ventilator (eng. *fan*) i hladnjak (eng. *heatsink*)
6. Matična ploča.

Slika 13. prikazuje dijelove sklopa matična ploča i samu matičnu ploču.



Slika 13. Dijelovi sklopa matična ploča: 1. procesor, 2. radna memorija, 3. Wi-Fi kartica, 4. Bluetooth modul, 5. ventilator i hladnjak, 6. matična ploča

Rastavljanje sklopa matična ploča započinje s odabirom osnovnog dijela. Osnovni dio ovog sklopa će biti matičina ploča.

Redoslijed rastavljanja sklopa matične ploče jest:

1. Uklanjanje vijka kod Wi-Fi kartice
2. Uklanjanje Wi-Fi kartice (izvlačenjem)
3. Uklanjanje Bluetooth modula (izvlačenjem)
4. Uklanjanje vijaka s matične ploče koji povezuju ventilatora i hladnjaka
5. Uklanjanje ventilatora i hladnjaka
6. Uklanjanje procesora
7. Uklanjanje RAM-a
8. Matična ploča.

4.1. Osnovne operacije rasklapanja kod sklopa matična ploča

Jednostavnost rasklapanja svake osnovne operacije procjenjuje se u skladu s tri temeljne značajke konstrukcije.

4.1.1. Značajke rasklapanja

Značajke se ocjenjuju prema ključnim pojmovima kao što su orijentacija, stezanje i rasklapanje.

Tijekom rasklapanja sklopa matična ploča, stezanje nije potrebno te se značajka stezanja [*Retain*] ocjenjujem s nula bodova – STEZANJE 0.

Dobava [*Supply*] sklopa matična ploča predstavlja prvu operaciju u sklopu značajki rasklapanja – DOBAVA.

Kod Wi-Fi kartice na matičnoj ploči se uklanja se vijak – ODVIJANJE 20.

Izvlači se Wi-Fi kartica – IZVLAČENJE 10.

Bluetooth modul se isto uklanja izvlačenjem – IZVALČENJE 10.

Uklanjanje vijaka koji povezuju matičnu ploču s ventilatorom i hladnjakom – ODVIJANJE 20.

Uklanjanje hladnjaka i ventilatora – UKLANJANJE 0.

Zatim se s matične ploče uklanja procesor – UKLANJANJE 10.

Uklanjaju se dvije kartice RAM-a – UKLANJANJE 10.

4.1.2. Značajke dijelova

Odabir i uklanjanje su ključni pojmovi koji opisuju značajke dijelova. U tablici 15. su prikazani svi dijelovi koji se gledaju za bodovanje značajke dijelova kod sklopa matična ploča.

Tablica 15.Značajke dijelova za sklop matična ploča

| REDNI BROJ DIJELA | IME DIJELA | UKLANJANJE | ZNAČAJKA DIJELOVA | OBJAŠNJENJE REZULTATA OCJENJIVANJA |
|-------------------|-----------------------|------------|-------------------|--|
| 1. | Procesor | 0 | 0 | Uklanjanje nije otežano |
| 2. | Radna memorija | 0 | 0 | Uklanjanje nije otežano |
| 3. | Wi-Fi kartica | 0 | 0 | Uklanjanje nije otežano |
| 4. | Bluetooth modul | 10 | 10 | Otežano uklanjanje jer je vrlo mala komponenta |
| 5. | Ventilator i hladnjak | 0 | 0 | Uklanjanje nije otežano |
| 6. | Matična ploča | 0 | 0 | Uklanjanje nije otežano |

4.1.3. Značajke procesa

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

Tijekom rasklapanja sklopa matična ploča, nije potrebno stezanje i značajka stezanja [*Retain*] se ocjenjuje s nula bodova – STEZANJE 0.

Kod sklopa matična ploča u trenutku uklanjanja procesora, radne memorije, ventilator i hladnjak potrebno je okrenuti matičnu ploču za 180° te se značajka okretanja ocjenjuje s 20 bodova – OKRETANJE 20.

4.2. Osnovni proces ocjenjivanja rasklapanja sklopa matična ploča










Prvi korak u ocjenjivanju rasklapanja sklopa matična ploča jest odrediti cilj i opseg rasklapanja (Tablica 16.).

Tablica 16. Cilj i opseg rasklapanja sklopa matična ploča

| | |
|--------------------|---|
| Naziv proizvoda: | Sklop matična ploča |
| Cilj rasklapanja: | D – Rasklapanje tijekom odlaganja s ciljem dobave dijelova koji se mogu ponovno upotrijebiti. |
| Opseg rasklapanja: | Izdvajanje dijelova poput procesora, RAM-a i sličnih |

Osnovne operacije i njihovi pripadajući bodovi su uneseni u tablicu 17. za sklop matična ploča te na temelju tih podataka se ispunjava dijagram jednostavnosti rasklapanja. Za bodove 70 ili iznad unutra dijagrama jednostavnosti rasklapanja uzimat će druga boja (svijetlo siva).

Tablica 17. DAC tablica za sklop matična ploča

| Osnovne operacije | Broj dijelova | Orijentacija rasklapanja | Značajke rasklapanja | | Značajke dijelova | | Značajke procesa | | Ukupan rezultat svih značajki $f(1)$ | Standardna operacije | | $d = 100 - f$ Dijagram jednostavnosti rasklapanja |
|-------------------|---------------|---|----------------------|---------|-------------------|----|------------------|----|--------------------------------------|----------------------|-----|--|
| | | | Or/Re | Rem/Sel | Re/Tu | | $o = f \times n$ | | | | | |
| SUPPLY | |  | | 0 | 0 | 0 | | 0 | | 0 | 100 | |
| UNSCREW | 1 |  | 20 | 0 | 0 | 20 | | 20 | | 20 | 80 | |
| PULL-OUT | 1 |  | ✓ 10+10 | 0 | 0 | 20 | | 20 | | 20 | 80 | |
| PULL-OUT | 1 |  | 10 | 10 | 0 | 20 | | 20 | | 20 | 80 | |
| UNSCREW | 4 |  | 20 | 0 | 20 | 40 | ✓ | 4 | 160 | 4 | 60 | |
| REMOVE | 1 |  | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | | 0 | 100 | |
| REMOVE | 1 |  | 10 | 0 | 0 | 10 | | 10 | | 10 | 90 | |
| REMOVE | 2 |  | ✓ 10+10 | 0 | 0 | 20 | | 2 | 40 | 2 | 80 | |
| REMOVE | 1 |  | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | | 0 | 100 | |
| Σ | 12 | | | | | | | | | 270 | 770 | |

Nakon što se ispuni tablice 17., za sklop matična ploča potrebno je izračunati jednadžbe (4) do (7) (točka 2.5.5).

Prosječan faktor jednostavnosti rasklapanja u sklopu matična ploča iznosi (4):

$$D1_{MP} [\text{bodovi}] = 770/9 = 85,55 . \quad (12)$$

Faktor jednostavnosti rasklapanja koji računamo po jednadžbi (5) iznosi:

$$D2_{MP} [\%] = 8/9 * 100 = 88,89\% . \quad (13)$$

Ukupna ocjena standardnih radnji prema jednadžbi (6) iznosi:

$$D3_{MP} [\text{bodovi}] = 270. \quad (14)$$

Ukupan broj dijelova za rasklapanje iznosi (7):

$$P_{MP} = 12. \quad (15)$$

Proizvodi s bodovima u rasponu od 70 do 100 smatraju se lako rasklopivima, pa tako i ovaj **analizirani sklop matična ploča s prosječnim brojem bodova od 85,55 spada u kategoriju jednostavne rasklopivosti.**

4.3. Odabir koncepta konstrukcije za rasklapanje sklopa matična ploča

Za sklop matičnu ploču je odabran koncept jednostavno spajanje iz razloga što se postoji mnogo vijaka odnosno vijčanih spojeva te ima više dijelova koji se samo izvuku (Tablica 13.).

Naredni korak je izračunavanje stope uspješnosti koncepta:

$C [\%] = \frac{\sum \text{rezultati standardnih operacija koje zadovoljavaju odabrani koncept } \mathbf{o}}{\sum \text{rezultat standardnih operacija } \mathbf{o}}$.

Standardne operacije koje zadovoljavaju odabrani koncept bi bile UNSCREW i PULL-OUT.

Za parametar \mathbf{o} će se koristiti izračunati parametra $D3_{MP}$ za sklop matičnu ploču.

Iz jednadžbe proizlazi da stopa uspješnosti koncepta, za sklop matična ploča, iznosi:

$$C_{MP} = 220/270 * 100 = 81,48\% .$$

Tablica 14. prikazuje postotke postignuća koncepta te iz nje se može vidjeti da **odabrani koncept je u skladu s konstrukcijom sklopa matična ploča.**

Razumijevanje konstrukcijskih značajki za lakše rasklapanje proizlazi iz stope uspješnosti koncepta i omjera faktora jednostavnosti rasklapanja. Postoje četiri zone koje pokazuju jesu li ispunjeni kriteriji jednostavnosti rasklapanja i konstrukcijskog koncepta.

Stavljanjem izračunatih faktora D_{2MP} i C_{MP} , za sklop matična ploča, u graf (Slika 12.) može se zaključiti da se **sklop nalazi u zoni 1 koja predstavlja zonu u kojoj su zadovoljeni jednostavnost i koncept rasklapanja.**

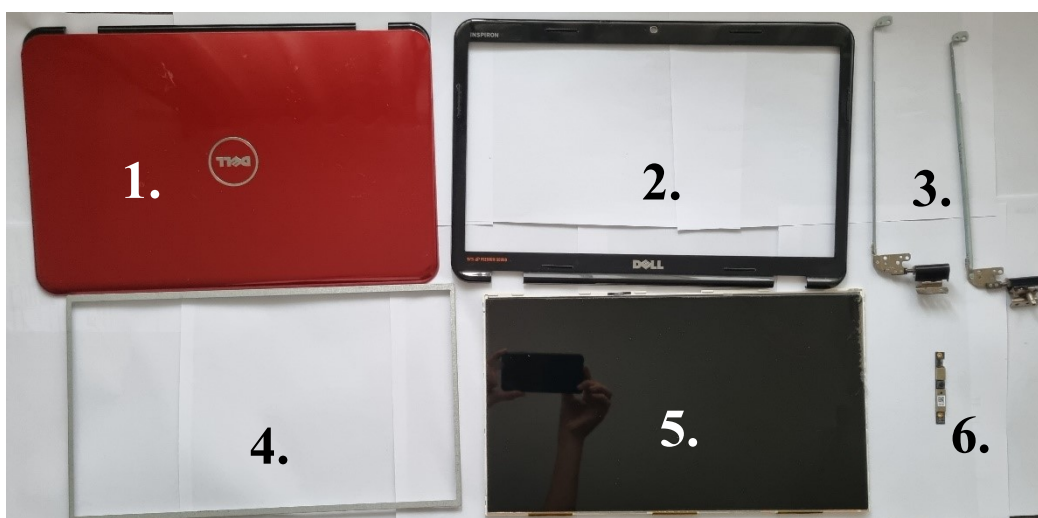
5. PROCJENA RASKLOPIVOSTI ZASEBNOG SKLOPA GORNJI POKLOPAC (EKRAN)

Sklop gornji poklopac (ekran) je zasebni sklop koji je dio sklopa prijenosno računalo modela Dell Inspiron N5010. Gornji poklopac (ekran) će se zasebno analizirati primjenom metode DAC.

Dijelovi sklopa gornji poklopac(ekran) jesu:

1. Ploča s logom
2. Vanjski plastični okvir
3. Šarka ekrana, dva komada
4. Limeni okvir ekrana
5. LCD ekran
6. Kamera.

Slika 14. prikazuje dijelove sklopa gornji poklopac.



Slika 14. Dijelovi sklopa gornji poklopac(ekran): 1. ploča s logom, 2. vanjski plastični okvir, 3. šarka ekrana, 4. limeni okvir ekrana, 5. LCD ekran, 6. kamera

Rastavljanje sklopa gornji poklopac (ekran) započinje s odabirom osnovnog dijela. Osnovni dio ovog sklopa će biti ploča s logom.

Redoslijed rastavljanja sklopa gornji poklopac jest:

1. Uklanjanje vanjskog plastičnog okvira od ploče s logom iskočnim mehanizmom
2. Uklanjanje kamere
3. Uklanjanje kablova od ekrana
4. Uklanjanje vijaka koji spajaju limeni okvir i šarke ekrana
5. Odljepljivanje limenog okvira od LCD ekrana
6. Ploča s logom.

5.1. Osnovne operacije rasklapanja kod sklopa gornji poklopac(ekran)

Jednostavnost rasklapanja svake osnovne operacije procjenjuje se u skladu s tri temeljne značajke konstrukcije.

5.1.1. Značajke rasklapanja

Značajke se ocjenjuju prema ključnim pojmovima kao što su orijentacija, stezanje i rasklapanje.

Tijekom rasklapanja sklopa gornji poklopac(ekran), stezanje nije potrebno te se značajka stezanja [*Retain*] ocjenjujem s nula bodova – STEZANJE 0.

Dobava [*Supply*] sklopa gornji poklopac(ekran) predstavlja prvu operaciju u sklopu značajki rasklapanja – DOBAVA.

Uklanjanje plastičnog vanjskog okvira od gornjeg poklopca iskočnim mehanizmom [*Snap-out*] – ISKOČNO UKLANJANJE 20.

Uklanjanje vijaka koji spajaju limeni okvir ekrana, šarke ekrana i ploče s logom – ODVIJANJE 20.

Uklanjanje šarka ekrana – UKLANJANJE 0.

Odljepljivanje [*Peel*] LCD ekrana od limenog okvira – ODLJEPLJIVANJE 30.

Uklanjanje limenog okvira – UKLANJANJE 0.

Uklanjanje kamere s ploče s logom – UKLANJANJE 10.

5.1.2. Značajke dijelova

Odabir i uklanjanje su ključni pojmovi koji opisuju značajke dijelova. U tablici 18. su prikazani svi dijelovi koji se gledaju za bodovanje značajke dijelova kod sklopa gornji poklopac(ekran).

Tablica 18. Značajke dijelova za sklop gornji poklopac(ekran)

| BR. DIJELA | IME DIJELA | UKLANJANJE | ZNAČAJKA DIJELOVA | OBJAŠNJENJE REZULTATA OCJENJIVANJA |
|-------------------|-------------------------|-------------------|--------------------------|--|
| 1. | Ploča s logom | 0 | 0 | Uklanjanje nije otežano |
| 2. | Vanjski plastični okvir | 0 | 0 | Uklanjanje nije otežano |
| 3. | Šarka ekrana | 0 | 0 | Uklanjanje nije otežano |
| 4. | Limeni okvir ekrana | 0 | 0 | Uklanjanje nije otežano |
| 5. | LCD ekran | 10 | 10 | Otežano uklanjanje zbog lijepila |
| 6. | Kamera | 10 | 10 | Otežano uklanjanje jer je vrlo mala komponenta |

5.1.3. Značajke procesa

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

Tijekom rasklapanja sklopa gornji poklopac(ekran), nije potrebno stezanje i značajka stezanja [*Retain*] se ocjenjuje s nula bodova – STEZANJE 0.

Sklop gornji poklopac (ekran) nije potrebno okretati tijekom rasklapanja.

5.2. Osnovni proces ocjenjivanja rasklapanja sklopa gornji poklopac(ekran)









Prvi korak u ocjenjivanju rasklapanja sklopa gornji poklopac (ekran) jest odrediti cilj i opseg rasklapanja (Tablica 19.).

Tablica 19. Cilj i opseg rasklapanja sklopa gornji poklopac(ekran)

| | |
|--------------------|---|
| Naziv proizvoda: | Sklop gornji poklopac(ekran) |
| Cilj rasklapanja: | D – Rasklapanje tijekom odlaganja s ciljem dobave dijelova koji se mogu ponovno upotrijebiti. |
| Opseg rasklapanja: | Izdvajanje dijelova poput LCD ekrana , kamere i sličnih. |

Osnovne operacije i njihovi pripadajući bodovi su uneseni u tablicu 20. za sklop gornji poklopac (ekran) te na temelju tih podataka se ispunjava dijagram jednostavnosti rasklapanja. Za bodove 70 ili iznad unutra dijagrama jednostavnosti rasklapanja uzimat će druga boja (svijetlo siva).

Tablica 20. Tablica DAC za gornji poklopac

| Osnovne operacije | Broj dijelova | Orijentacija rasklapanja | Značajke rasklapanja Or/Re | Značajke dijelova Rem/Sel | Značajke procesa Re/Tu | Ukupan rezultat svih značajki f(1) | Standardna operacije o = f x n | | d = 100 - f Dijagram jednostavnosti rasklapanja | | | | |
|-------------------|---------------|---|----------------------------|---------------------------|------------------------|------------------------------------|--------------------------------|-----|--|--|--|--|--|
| SUPPLY | |  | | 0 | 0 | 0 | | 0 | 100 | | | | |
| SNAP-OUT | 1 |  | 20 | 0 | 0 | 20 | | 20 | 80 | | | | |
| UNSCREW | 14 |  | 20 | 0 | 0 | 20 | 14 | 280 | 80 | | | | |
| REMOVE | 2 |  | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 100 | | | | |
| PEEL | 1 |  | 30 | 10 | 0 | 40 | | 40 | 60 | | | | |
| REMOVE | 1 |  | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 100 | | | | |
| REMOVE | 1 |  | 10 | 10 | 0 | 20 | | 20 | 80 | | | | |
| REMOVE | 1 |  | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 100 | | | | |
| Σ | 21 | | | | | | | 360 | 700 | | | | |

Nakon što se ispuni tablice 20., za sklop gornji poklopac(ekran) potrebno je izračunati jednadžbe (4) do (7) (točka 2.5.5.).

Prosječan faktor jednostavnosti rasklapanja u sklopu gornji poklopac iznosi (4):

$$D1_{GP} [\text{bodovi}] = 700/8 = 87,5. \quad (16)$$

Faktor jednostavnosti rasklapanja koji računamo po jednadžbi (5) iznosi:

$$D2_{GP} [\%] = 7/8 * 100 = 87,5 \% . \quad (17)$$

Ukupna ocjena standardnih radnji prema jednadžbi (6) iznosi:

$$D3_{GP} [\text{bodovi}] = 360. \quad (18)$$

Ukupan broj dijelova za rasklapanje iznosi (7):

$$P_{GP} = 21. \quad (19)$$

Proizvodi s bodovima u rasponu od 70 do 100 smatraju se lako rasklopivima, pa tako i ovaj **analizirani sklop gornji poklopac (ekran) s prosječnim brojem bodova od 87,5 spada u kategoriju jednostavne rasklopivosti.**

5.3. Odabir koncepta konstrukcije za rasklapanje sklopa gornji poklopac (ekran)

Za sklop gornji poklopac (ekran) je odabran koncept jednostavno spajanje iz razloga što se postoji mnogo vijaka odnosno vijčanih spojeva i ima dosta uskočnih spojeva (Tablica 13.).

Naredni korak je izračunavanje stope uspješnosti koncepta:

$C [\%] = \frac{\sum \text{rezultati standardnih operacija koje zadovoljavaju odabrani koncept } o_c}{\sum \text{rezultat standardnih operacija } o}.$

Standardne operacije koje zadovoljavaju odabrani koncept bi bile UNSCREW i SNAP-OUT.

Za parametar o će se koristiti izračunati parametra $D3_{GP}$ za sklop gornji poklopac (ekran).

Iz jednadžbe proizlazi da stopa uspješnosti koncepta iznosi:

$$C_{GP} = 300/ 360 * 100 = 83,33 \%.$$

Tablica 14. prikazuje postotke postignuća koncepta te iz nje se može vidjeti da **odabrani koncept je u skladu s konstrukcijom sklopa gornji poklopac (ekran).**

Razumijevanje konstrukcijskih značajki za lakše rasklapanje proizlazi iz omjera stope uspješnosti koncepta i faktora jednostavnosti rasklapanja. Postoje četiri zone koje pokazuju jesu li ispunjeni kriteriji jednostavnosti rasklapanja i konstrukcijskog koncepta.

Stavljanjem izračunatih faktora $D2_{GP}$ i C_{GP} , za sklop gornji poklopac, u graf (Slika 12.) može se zaključiti da se **sklop nalazi u zoni 1 koja predstavlja zonu u kojoj su zadovoljeni jednostavnost i koncept rasklapanja.**

6. ZAKLJUČAK

U današnjem svijetu, brz tehnološki napredak rezultira sve kraćim životnim vijekom elektroničkih uređaja, uključujući prijenosnih računala, koja čine značajan dio elektroničkog otpada. Pravilno rasklapanje ovih uređaja omogućava učinkovito recikliranje vrijednih materijala poput zlata, srebra, bakra i plastike, smanjujući potrebu za ekstrakcijom sirovina i emisijom stakleničkih plinova. Osim ekološke koristi, pravilno zbrinjavanje elektroničkog otpada sprječava onečišćenje okoliša opasnim tvarima kao što su olovo, živa i kadmij, te stvara gospodarske mogućnosti u industriji reciklaže.

Rasklopivost proizvoda odnosi se na sposobnost proizvoda da se rastavi na sastavne dijelove, što je ključno za održivost kroz reciklažu, popravke i ponovnu upotrebu dijelova. U ovom radu istraženi su različiti postupci za procjenu rasklopivosti, uključujući nekoliko ključnih metoda kao što su analiza vrijednosti rasklapanja, oblikovanje proizvoda za rasklapanje, oblikovanje proizvoda za recikliranje, oblikovanje proizvoda za kraj životnog ciklusa i Sonyjeva metoda DAC.

U radu je provedena analiza rasklopivosti dotrajalog prijenosnog računala Sonyjevom metodom DAC. Metoda DAC konstruktorima omogućuje da osiguraju jednostavno sklapanje i rasklapanje proizvoda. Najdjelotvornija je kada se primijeni u početnoj fazi konstruiranja, jer omogućava smanjenje troškova proizvodnje izbjegavanjem kasnijih konstrukcijskih izmjena. U DAC metodi procjena rasklopivosti uključuje tri osnovne značajke konstrukcije: značajke rasklapanja, značajke dijelova i značajke procesa. Također se analizom dobiju tri parametra koji prikazuju jednostavno rasklapanja određenog proizvoda. Pod parametre se uključuje prosječan faktor jednostavnosti rasklapanja D1, faktor jednostavnosti rasklapanja D2 (%) i ukupna ocjena standardnih radnji D3.

Tijekom analize za sklopa prijenosno računalo dobiveno jest da je prosječan faktor jednostavnosti rasklapanja D1 84 bodova od mogućih 100. Također su zasebno analizirana dva sklopa, matična ploča i gornji poklopac(ekran), za koje je izračunat D1 te za matičnu ploču je iznosio 85,55, a za gornji poklopac 87,5. Svi ovi rezultati pokazuju da prijenosno računalo i njegovi posebno analizirani sklopovi zadovoljavaju kriterije jednostavnosti rasklapanja, te se time olakšava njihovo recikliranje i ponovna upotreba dijelova.

Za računanje stope uspjeha koncepta potrebno je odabrati koncept koji najbolje odgovara stilu rasklapanja. Odabrani koncepti, za sklop prijenosno računalo, su „jednostavno spajanje“ i „jednostavni dijelovi“, iz čega slijedi da stopa uspješnosti koncepta *C* iznosi 84,78 %. Isto tako su zasebno odabrani koncepti za analizirane sklopove. Za sklop matična ploča također su odabrani koncepti „jednostavno spajanje“ i „jednostavni dijelovi“, te i njih proizlazi da stopa uspješnosti koncepta *C* iznosi 85,19 %. Dok za sklop gornji poklopac(ekran) odabran je samo koncept „jednostavno spajanje“, iz kojeg slijedi da stopa uspješnosti koncepta iznosi 83,33 %. U slučaju kada stopa uspjeha koncepta iznosi preko 70 % govori se da je konstrukcija u skladu s konceptom.

Ovim radom pokazano je da pravilna procjena rasklopivosti može značajno doprinijeti održivom razvoju proizvoda. Problemi rasklapanja proizvoda postaju sve aktualniji, te postoji sve veće potreba za razvijanjem naprednijih metoda za procjenu rasklopivosti. Isto tako, za daljnji rad, bilo bi zanimljivo provesti procjenu rasklopivosti prijenosnog računala na temelju metode oblikovanje proizvoda za recikliranje (eng. *Design for Recycling*), kako bi se vidjelo koliko je moguće određene dijelova proizvoda reciklirati.

7. LITERATURA

- [1] V. Forti, The Global E-waste Monitor 2020., Preuzeto s <https://ewastemonitor.info/gem-2020/>, Posjećeno: 2024-08-30.
- [2] United Nations University, E-waste Statistics: Guidelines on Classifications, Reporting and Indicators, Preuzeto s <https://www.itu.int/en/ITU-D/Environment/Pages/Toolbox/Guidelines.aspx>, Posjećeno: 2024-08-30.
- [3] International Labour Organization, Working Conditions in a Globalized World, Preuzeto s <https://www.ilo.org/publications/major-publications/working-conditions-global-perspective>, Posjećeno: 2024-08-30.
- [4] Y. Sato, J. J. Kaufman, Value Analysis Tear-down, Industrial Press Inc., 2005.
- [5] S. L. Soh, Design for Disassembly for Remanufacturing: Methodology and Technology; 21st CIRP Conference on Life Cycle Engineering; 2014., Dostupno na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827114004764>
- [6] F. Cappelli, Design for disassembly: a methodology for identifying the optimal disassembly sequence; Journal of Engineering Design, 2008. Dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/233163485_Design_for_disassembly_A_methodology_for_identifying_the_optimal_disassembly_sequence
- [7] K. E. Moore, Petri net approach to disassembly process planning for products with complex AND/OR precedence relationships; European Journal of Operational Research 135; 2001.; Dostupno na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377221700003210>
- [8] Framework; <https://frame.work/products/laptop16-diy-amd-7040>; Posjećeno: 2024-08-30.
- [9] Fairphone; <https://www.fairphone.com>; Posjećeno: 2024-08-30.

- [10] Y. Leterrier, Life Cycle Engineering of Composites; Comprehensive Composite Materials, 2000., Dostupno na:
https://www.researchgate.net/publication/288151502_Life_Cycle_Engineering_of_Composites
- [11] T.F. Go, Multiple generation life-cycles for product sustainability: the way forward; Journal of Cleaner Production, 2015., Dostupno na:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652615001870>
- [12] Sony, DAC, Disassembly Evaluation/Design Manual; 1996.