

Vrednovanje recikličnosti na primjeru prijenosnog računala

Knajz, Dominik

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:165164>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-01**

Repository / Repozitorij:

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



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

Stručni studij

VREDNOVANJE RECIKLIČNOSTI NA PRIMJERU
PRIJENOSNOG RAČUNALA

Završni rad

Dominik Knajz

Osijek, 2020.

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Obrazac Z1S: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za završni ispit na preddiplomskom stručnom studiju

Osijek, 13.09.2020.

Odboru za završne i diplomske ispite

**Imenovanje Povjerenstva za završni ispit
na preddiplomskom stručnom studiju**

| | |
|---|---|
| Ime i prezime studenta: | Dominik Knajz |
| Studij, smjer: | Preddiplomski stručni studij Elektrotehnika, smjer Elektroenergetika |
| Mat. br. studenta, godina upisa: | A4244, 16.09.2019. |
| OIB studenta: | 84375315250 |
| Mentor: | Doc. dr. sc. Goran Rozing |
| Sumentor: | Dr. sc. Krešimir Miklošević |
| Sumentor iz tvrtke: | |
| Predsjednik Povjerenstva: | Doc.dr.sc. Tomislav Rudec |
| Član Povjerenstva 1: | Doc. dr. sc. Goran Rozing |
| Član Povjerenstva 2: | Dr.sc. Venco Čorluka |
| Naslov završnog rada: | Vrednovanje recikličnosti na primjeru prijenosnog računala |
| Znanstvena grana rada: | Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika) |
| Zadatak završnog rada | Na primjeru dva modela dotrajala prijenosna računala primijeniti model vrednovanja recikličnosti. Ukazati na konstrukcijske smjernice poboljšanja recikličnosti. Preporučiti postupke zbrinjavanja ove vrste proizvoda. |
| Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (završnog rada): | Dobar (3) |
| Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova: | Primjena znanja stečenih na fakultetu: 2 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 1 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 2 bod/boda Razina samostalnosti: 2 razina |
| Datum prijedloga ocjene mentora: | 13.09.2020. |
| Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija: | Potpis: |
| | Datum: |



FERIT

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA

Osijek, 25.09.2020.

Ime i prezime studenta:

Dominik Knajz

Studij:

Preddiplomski stručni studij Elektrotehnika, smjer Elektroenergetika

Mat. br. studenta, godina upisa:

A4244, 16.09.2019.

Turnitin podudaranje [%]:

11

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Vrednovanje recikličnosti na primjeru prijenosnog računala**

izrađen pod vodstvom mentora Doc. dr. sc. Goran Rozing

i sumentora Dr. sc. Krešimir Miklošević

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija. Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

SADRŽAJ

| | |
|--|----|
| 1. UVOD..... | 1 |
| 1.1. Zadatak završnog rada..... | 1 |
| 2. VAŽNOST RECIKLIRANJA I RECIKLIČNOSTI PROIZVODA..... | 2 |
| 2.1. Pregled dostupnih literaturnih izvora o recikličnosti prijenosnih računala | 2 |
| 2.2. Osnovni pojmovi | 2 |
| 2.3. Operacije recikliranja | 3 |
| 2.3.1. Rastavljanje dotrajalih proizvoda..... | 4 |
| 2.3.2. Usitnjavanje otpada | 5 |
| 2.3.3. Razvrstavanje otpada..... | 7 |
| 2.4. Vrednovanje recikličnosti proizvoda | 11 |
| 2.5. Zakonska regulativa u Hrvatskoj vezana za električni i elektronički otpad . | 14 |
| 3. USPOREDBA RECIKLIČNOSTI PRIJENOSNIH RAČUNALA | 15 |
| 3.1. Postupak mjerenja | 15 |
| 3.2. Analiza recikličnosti prijenosnog računala Acer N15W4 | 16 |
| 3.3. Analiza recikličnosti prijenosnog računala HP T60M283.00 | 22 |
| 3.4. Usporedba provedene analize prijenosnih računala | 29 |
| 4. PREPORUKE ZBRINJAVANJA PRIJENOSNIH RAČUNALA | 31 |
| 5. ZAKLJUČAK..... | 33 |
| LITERATURA | 34 |
| SAŽETAK | 36 |
| ŽIVOTOPIS..... | 37 |

1.UVOD

Negativna strana tehnološkog napretka, povećanja broja stanovnika na Zemlji i načina današnjeg života je svakodnevno stvaranje velikih količina otpada. Loše gospodarenje otpadom na globalnoj razini uzrokuje onečišćenje zraka, tla i vode, što uveliko smanjuje kvalitetu ljudskoj života i ekosustava.

Tehnologija postaje sve više integrirana u čovjekov život. Poluvodiči i senzori ugrađuju se u uređaje koji ih prije nisu imali, više elektroničkih komponenti znači veća vjerojatnost da će se proizvod pokvariti tako životni vijek uređaja postaje sve kraći. Lakše i jeftinije je kupiti novi uređaj nego popraviti stari. Mooreov zakon, Gordona Moora suvlasnika tvrtke Intel, ukazuje da se svake dvije godine broj tranzistora u integriranom krugu udvostručuje što kao posljedicu ima pozitivnu stranu brzog napretka tehnologije, a kao negativnu brzo zastarijevanje računala koji se većinom ispravni odbacuju jer ne mogu držati korak s vremenom [1]. To su sve čimbenici koji utječu na gomilanje elektroničkog otpada. Elektrotehnički i elektronički otpad posebno je problematičan zbog svojega sastava i sadržaja opasnih tvari. Sadrži i vrijedne elemente kao što su zlato, srebro, bakar, litij i druge vrijedne metale s kojima smo količinski ograničeni. Veliki teret je na proizvođačima tj. konstruktorima koji trebaju dizajnirati svoje proizvode koji će ujedno obavljati svoj posao i imati mogućnost lakog popravka i lakog rastavljanja sa što manjim udjelom štetnih materijala.

Jedan od ciljeva donesenih na međunarodnoj konferenciji UN-a o okolišu 1992. je koncept održivog razvoja (e. *sustainable development*) koji glasi : "Razvitak koji zadovoljava potrebe sadašnjice bez ugrožavanja mogućnosti budućih naraštaja da zadovolje vlastite potrebe" [2]. Veliku ulogu u održivom razvoju ima recikliranje jer dopušta razvitak sadašnjice bez ugrožavanja budućih generacija da zadovolje svoje potrebe.

U drugom poglavlju navedene su važnosti recikliranja i recikličnosti proizvoda. Treće poglavlje sastoji se od analiza recikličnosti dva prijenosna računala i njihova usporedba, dok se u četvrtom poglavlju opisuje mogući postupak zbrinjavanja prijenosnih računala. Peto poglavlje sadrži zaključak.

1.1. Zadatak završnog rada

U ovome završnom radu potrebno je na primjeru dva dotrajala prijenosna računala proizvođača Acer i HP primijeniti model vrednovanja recikličnosti. Ukazati na konstrukcijske smjernice poboljšanja recikličnosti. Preporučiti postupke zbrinjavanja ove vrste proizvoda.

2. VAŽNOST RECIKLIRANJA I RECIKLIČNOSTI PROIZVODA

Svi proizvodi imaju vijek trajanja te nakon što prestanu obavljati funkciju za koji su predviđeni, potrebno ih je adekvatno zbrinuti. Uzroci zbog kojih se proizvodi odbacuju su dotrajalost, tehnološko i tržišno zastarijevanje i oštećenja.

2.1. Pregled dostupnih literaturnih izvora o recikličnosti prijenosnih računala

Električni i elektronički otpad je najbrže rastući otpad na planeti s godišnjom stopom rasta od tri do četiri posto. Procjenjuje se da će proizvodnja elektroničkog otpada doseći 52,2 milijuna tona godišnje do 2021. te se od toga reciklira samo 15 posto [3].

Proizvodnja informacijske i komunikacijske tehnologije poput prijenosnih računala temelji se na energetske i resursno intenzivnim proizvodnim procesima, kao i na širem spektru metalnih resursa koje se mogu smatrati oskudnima. Utjecaji na okoliš korištenja rabljenih prijenosnih računala manji su od 39 do 50 od utjecaja novih prijenosnih računala [4,5].

Rezultat studija ekološke održivosti potrošačke elektronike putem odabira materijala za kućišta prijenosnih računala je da uporaba aluminijske ne bi bila bolja opcija od upotrebe plastike. Ako potrošačka elektronika želi postati ekološki održiva potrebna je primjena "zelene kemije" (npr. plastika na biološkoj bazi PLA-DOPO) i inženjerskih principa dizajna za usporivače gorenja koji su netoksični, pružaju minimalan utjecaj na proizvodnju i podržavaju recikliranje [6].

2.2. Osnovni pojmovi

Recikliranje je ponovna uporaba odbačenih materijala iz otpada. Postoji još od davnina no pojam "moderno recikliranje" kakvo se danas poznaje javlja se 1970-ih godina kada globalno počinje jačati ekološka osviještenost i zabrinutost zbog gomilanja otpada te iscrpljivanja resursa.

Recikličnost (e. *Recyclability*) je obilježje proizvoda koje ukazuje na njegovu prikladnost da se može iz otpada preusmjeriti i vratiti na ponovnu uporabu kao funkcionalan ispravni dio ili sirovina za izradu novog proizvoda [7].

Postoje tri vrste recikliranja: *Downcycling*, *Recycling*, *Upcycling*.

Downcycling je najniži oblik povrata materijala u kojem se materijali koriste u druge namjene niže vrijednosti od prvobitne. Primjer: auto-dijelovi, čelik iz automobila upotrebljava se kao armatura u građevini.

Suprotan proces je *upcycling* koji predstavlja ponovnu uporabu bez smanjenja kvalitete i sastava materijala za drugu namjenu. Primjer: kućište računala pretvoreno u poštanski sandučić, uporaba popravljenog uređaja itd.

Recikliranje se može promatrati kroz životne faze proizvoda koji se dijele na:

- Recikliranje prije uporabe
- Recikliranje tijekom uporabe
- Recikliranje nakon uporabe

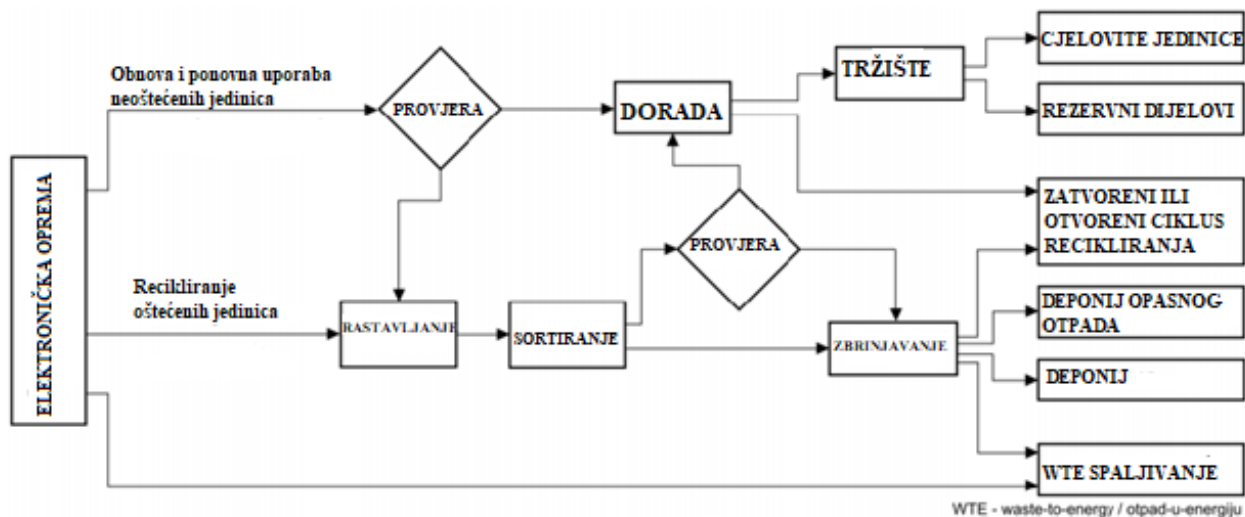
Recikliranje prije uporabe odnosi se na otpad koji nastaje tijekom proizvodnje te se vraća nazad u proizvodni proces. Primjer: piljevina, strugotina, aluminijska limenka s greškom. Recikliranje tijekom uporabe predstavlja otpad koji je nastao održavanjem proizvoda. Primjer: zamijenjeni dotrajali dijelovi tijekom servisiranja. Recikliranje nakon uporabe odnosi se na uklanjanje dotrajalog proizvoda. U ovoj životnoj fazi nastaje najveća količina otpada. Primjer je sav "potrošački otpad".

2.3. Operacije recikliranja

Recikliranje elektoničkog otpada može biti izazovno jer su elektonički uređaji vrlo složeni i komplicirani. Operacije recikliranja dijele se na:

- Prikupljanje otpada
- Rastavljanje
- Razvrstavanje
- Skladištenje
- Transport
- Prerada za dobivanje materijala

Slika 2.1. prikazuje dijagram tjeka mogućih načina zbrinjavanja. Preferirane mogućnosti su ponovna uporaba, recikliranje i prerada.

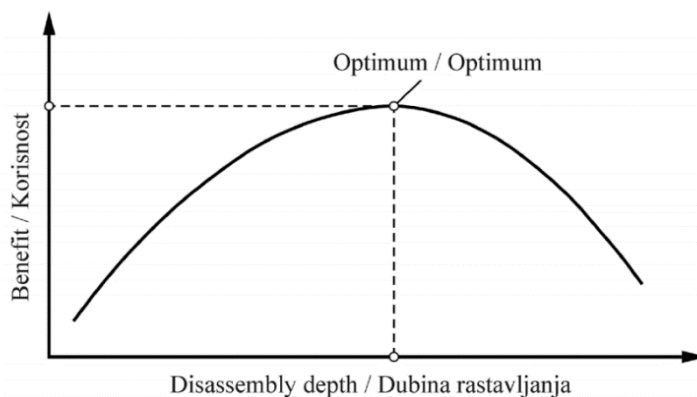


Slika 2.1. Mogući načini zbrinjavanja dotrajale elektroničke opreme [8]

Ponovna uporaba uz doradu uključuje daljnju upotrebu proizvoda. Prerada ili ponovna proizvodnja koristi se za uređaje koje nisu u funkciji, a njihovo osposobljavanje za uporabu bi bilo isplativije nego raditi sve novo. Recikliranje omogućuje ponovnu uporabu odbačenih materijala iz dotrajalih proizvoda koji će se ponovo iskoristiti za proizvodnju novih. Postoji mogućnost spaljivanja otpada u spalionicama za dobivanje energije i odlaganje na deponije.

2.3.1. Rastavljanje dotrajalih proizvoda

Rastavljanje je proces odvajanja dijelova proizvoda i najvažniji je dio recikliranja jer je skup. Može se podijeliti na ručno i mehaničko. Ručno rastavljanje je skuplje od mehaničkog, ali veća je čistoća recyklata. Mehaničko rastavljanje pogodno je kod velikih količina otpada. Razina do koje se otpad reciklira može se definirati na osnovu optimalne dubine rastavljanja koja za najmanje utrošenu energiju daje najveću korist.



Slika 2.2. Optimalna dubina rastavljanja [8]

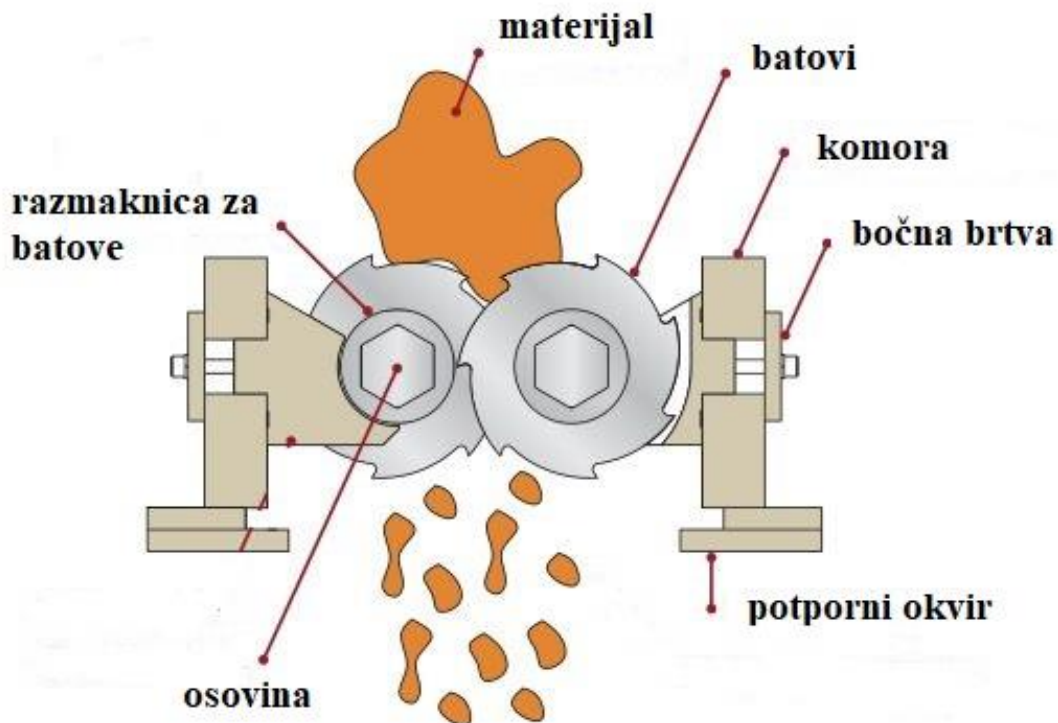
2.3.2. Usitnjavanje otpada

Prije usitnjavanja otpad se rastavlja kako bi se:

- uklonili dijelovi koji sadrže štetne tvari
- ponovo uporabili ispravni dijelovi
- odvojili vrijedni materijali
- odvojili dijelovi koji bi naštetili ostatku otpada

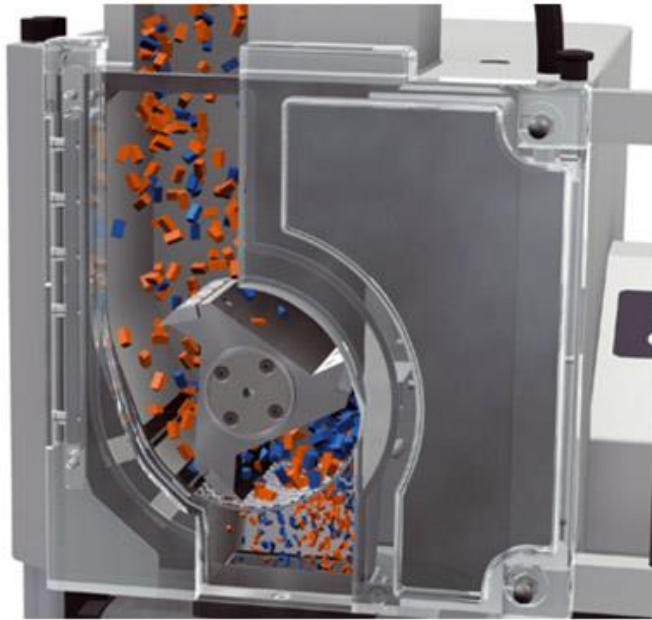
Usitnjavanje je proces kod kojeg se kidaju vezivne sile unutar strukture materijala djelovanjem sile ili topline. Uređaji za mehaničko usitnjavanje otpada [7]:

- *Shredder* – usitnjivač, materijal usitnjava udaranjem batova koji su napravljeni od posebne vrste čelika. Robustan uređaj koji većinom koristi mali broj okretaja i što veći okretni moment kako bi bio što učinkovitiji.



Slika 2.3. Shredder [9]

- *Cuttingmill* – materijal usitnjava primjenom diskova na osovini koji se okreću u suprotnom smjeru. Prikladan je kod elastičnih materijala.



Slika 2.4. *Cuttingmill* [10]

- *Cryogrinder* – pomoću tekućeg dušika ili tekućeg ugljikovog dioksida materijal se duboko hladi što povećava lomljivost. Materijal se prvo ohladi prije nego što uđe u drobilicu.



Slika 2.5. *Cryogrinder* [11]

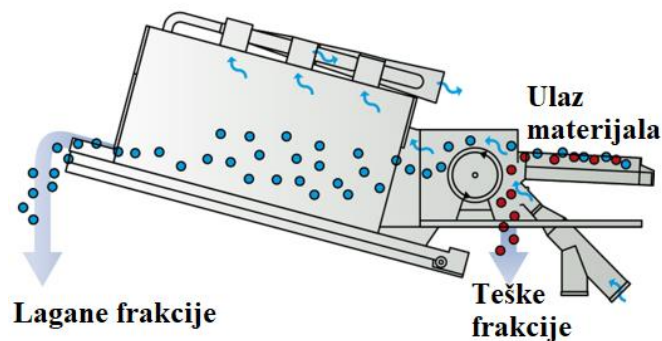
- *Riddle* – razdvaja i razvrstava čestice prema veličini primjenom sustava rešetki.

2.3.3. Razvrstavanje otpada

Kao u slučaju s rastavljanjem postoji ručno i mehaničko razvrstavanje otpada. Ručno razvrstavanje otpada je skuplje i primjenjuje se gdje je potrebna veća čistoća reciklata. Mehaničko (automatsko) razvrstavanje otpada u praksi je sve češće.

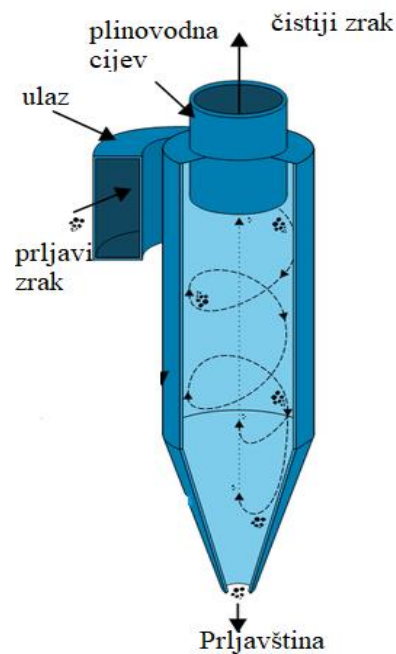
Važniji postupci mehaničkog razvrstavanja [7]:

- Propuhivanje – pomoću zračnih struja odvaja lagane materijale od teških. Teški elementi propadnu, a lagani elementi odlaze u smjeru zračnih struja.



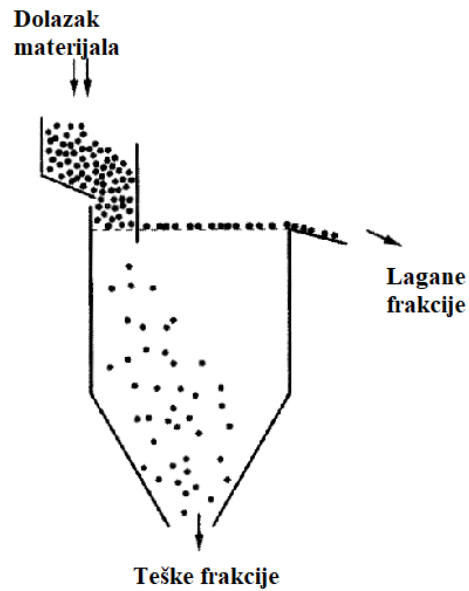
Slika 2.6. Postupak propuhivanja [12]

- Zračni vrtlog – uz pomoć centrifugalnih sila odvajaju se krute čestice otpada različitih dimenzija čestica ili različite gustoće. U ciklonskom separatoru neprekidno se dovode sitne čestice u struji zraka u komoru u kojoj se stvara spiralni vrtlog.



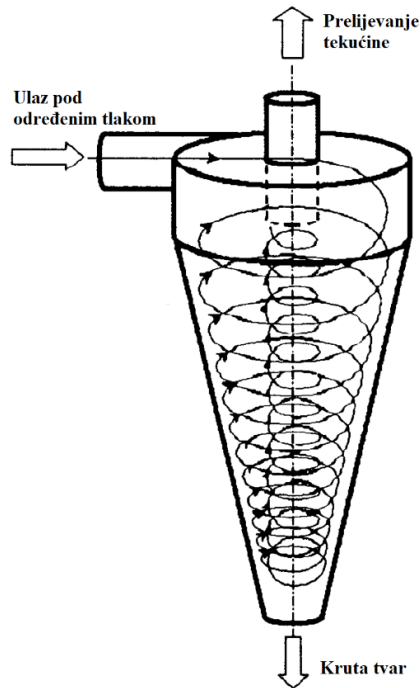
Slika 2.7. Zračni vrtlog [13]

- Plivajuće-toneći postupak – Krute čestice odvajaju se ovisno o njihovoj gustoći, lakše čestice plivaju na površinu, krute potonu na dno.



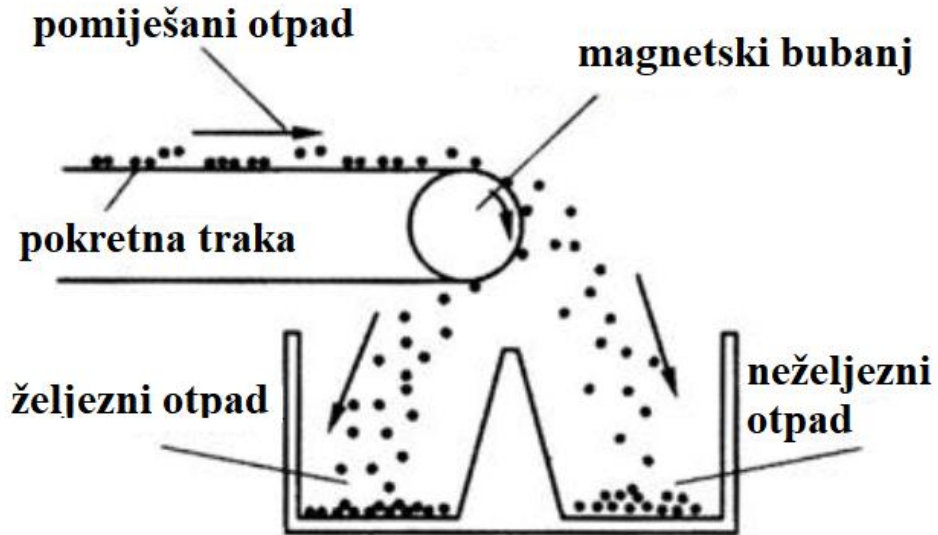
Slika 2.8. Plivajuće-toneći postupak [14]

- Vodeni vrtlog – zbog razlike u obliku i veličini čestica otpada, uređaj centrifugalno odvaja čestice iz tekućina. Tlak fluida stvara centrifugalnu silu koja odvaja krute čestice i do oko 5 mikrometara.



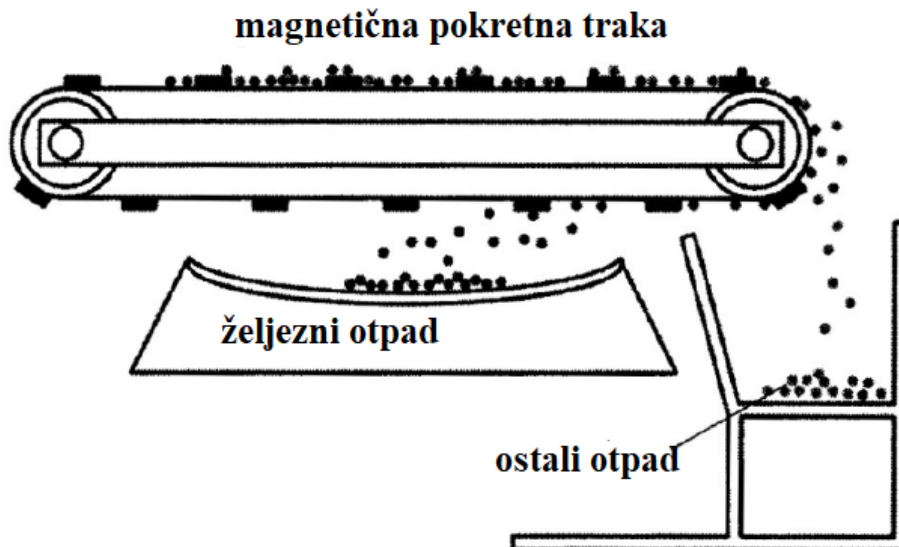
Slika 2.9. Vodeni vrtlog [15]

- Fero-magnetski postupak – feromagnetski materijal zadržava se na traci pomoću bubnja s jakim magnetskim poljem, a nemagnetični elementi padaju s trake.



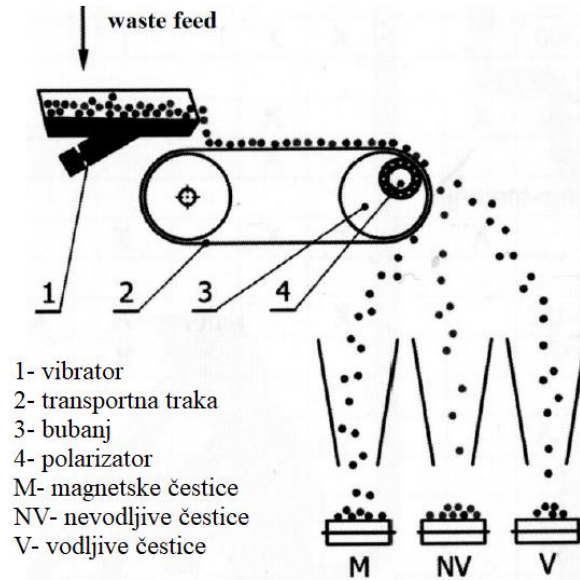
Slika 2.10. Fero-magnetski postupak [7]

- Odvajanje jakim magnetskim poljima – postupak se koristi za odvajanje paramagnetskih od nemagnetičnih materijala prolaskom otpada kroz magnetsko polje.



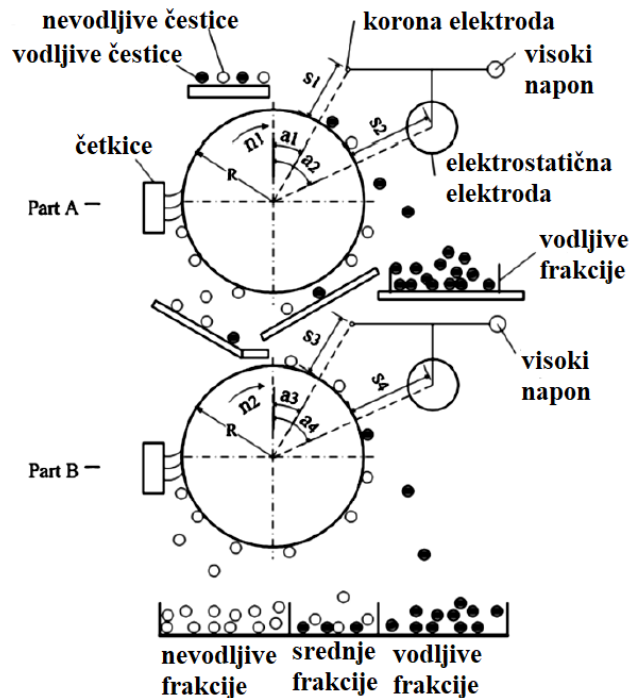
Slika 2.11. Odvajanje jakim magnetskim poljima [7]

- Vrtložnim strujama – prolaskom vodljivog materijala kroz promjenjivo magnetsko polje, induciraju se vrtložne struje koje stvaraju svoje magnetsko polje suprotno induciranom te tako dolazi do odbojnih sila.



Slika 2.12. Razvrstavanje vrtložnim strujama [7]

- Elektrostatički postupak – elektrostatiskim nabijanjem usitnjenog otpada i prolaskom između različito nabijenih ploča, nevodljivi materijal privući će na ploču, a vodljivi materijal zbog istog naboja kao i ploča odbiti će se.



Slika 2.13. Elektrostatički postupak [16]

2.4. Vrednovanje recikličnosti proizvoda

Metodom recikličnosti proizvoda moguće je iskazati prikladnost dotrajalih proizvoda recikliranju. Elementarni pokazatelji relevantni za ocjenu recikličnosti dobivaju se zapažanjem, mjerenjem i procjenom te se sastoje od: naziva elementa, mase elementa, broja komada, vrste materijala, vremena rastavljanja, recikličnosti dijela.

1. Naziv elementa, $i=1\dots n$

Pokazatelj ima ulogu identifikatora pojedinog dijela prijenosnog računala. Oznaka „i“ ima vrijednosti od 1 do n.

2. Masa elementa, m_i

Pokazatelj koji upućuje na isplativost recikliranja i određuje se vaganjem pojedinih dijelova prijenosnog računala.

3. Broj komada, b_i

Predstavlja broj ponavljanja pojedinih dijelova u proizvodu. (npr. u prijenosnom računalu pojavljuje se 3 potpuno ista vijka, u tom slučaju $b_i=3$)

4. Vrsta materijala, $(vm)_i$

Prilikom vaganja određuje se vrsta materijala pojedinog elementa. Prilikom recikliranja materijali se razvrstavaju s obzirom na dostupne postupke prerade. Dijelovi se najčešće razvrstavaju na:

- Bakar i slitine
- Željezne slitine
- Aluminijske slitine
- Ostale neželjene slitine
- Keramika
- Staklo
- Polimeri, pomiješani
- Polimeri, nerazvrstani
- Složeni materijali
- Ostali materijali

5. Vrijeme rastavljanja, v_i , v_{kl}

Vrijeme rastavljanja je pokazatelj vremena proteklog pri operaciji rastavljanja. Upućuje na isplativost recikliranja.

6. Recikličnost dijela, r_i

Varijabla s kojom se za pojedine dijelove ili teško rastavljive sklopove procjenjuje recikličnost. Pri procjenu koristi se tablica 2.1. za ocjenu recikličnosti.

Tablica 2.1. Ocjena recikličnosti materijala [17]

| Ocjena | Opis mjerila i primjeri |
|--------|--|
| 0 | dio ili sklop koji sadrži opasne tvari (kondenzatori, baterije, živa, itd.) |
| 1 | materijal s nepoznatom tehnologijom recikliranja (duromeri, viskeri, kompoziti) |
| 2 | organski materijal, ne može se reciklirati (polimer nepoznate vrste) |
| 3 | materijal je moguće reciklirati, ali zahtjeva dodatnu obradu (elektromotori) |
| 4 | materijal se može reciklirati, ali oprema nije dostupna (kablovi, vodiči, metal + polimer) |
| 5 | materijal je recikličan, postupak recikliranja poznat (aluminij, bakar, legure itd.) |

Složeni pokazatelji recikličnosti proizvoda računaju se pomoću ranije navedenih elementarnih pokazatelja. Sastoje se od: broja elemenata, ukupne mase proizvoda, broj vrsta materijala po proizvodu, ukupnog vremena rastavljanja proizvoda i recikličnosti proizvoda.

1. Broj elemenata, B

Predstavlja ukupan broj svih elemenata u proizvodu. Povoljno je da broj elemenata bude što manji.

$$B = \sum_{i=1}^n b_i \quad (2-1)$$

2. Ukupna masa proizvoda, M

Predstavlja ukupan zbroj masa svih elemenata proizvoda prema formuli:

$$M = \sum_{i=1}^n (b_i \cdot m_i) \quad (2-2)$$

3. Broj vrsta materijala po proizvodu, B_{vm}

Pokazatelj raznovrsnosti materijala u nekom proizvodu. Zbog nižih troškova i veće čistoće reciklata poželjno je da se proizvod sastoji od što manjeg broja različitih vrsta materijala.

4. Ukupno vrijeme rastavljanja proizvoda, VR

Određuje se zbrajanjem svih operacija rastavljanja prema formuli:

$$VR = \sum_{i=1}^n v_i + \sum_{k=1}^g \sum_{l=1}^h v_{kl} \quad (2-3)$$

5. Recikličnost proizvoda, R

Bezdimenzionalni je pokazatelj mogućnosti materijalne iskoristivosti dotrajalog proizvoda čiji se iznos kreće od 0 do 1. Računa se prema formuli:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n b_i \cdot m_i \cdot r_i}{M \cdot r_{max}} \quad (2-4)$$

R recikličnost proizvoda

b_i broj ponavljanja i-tog dijela, kg

m_i masa i-tog dijela

r_i ocjena recikličnosti i-tog dijela

r_{max} maksimalna ocjena recikličnosti , iznosi 5

M ukupna masa proizvoda, kg

Nakon uvrštavanja brojeva u formulu dobiju se vrijednosti koje su potencijal preradivosti proizvoda te se mogu svrstati u jednu od tri kategorije:

- 0,75 do 1 -povoljan ishod
- 0,5 do 0,75 - potrebno selektivno rastavljanje ili rekonstrukcija proizvoda
- manje od 0,5 – prerada down-cycling

2.5. Zakonska regulativa u Hrvatskoj vezana za električni i elektronički otpad

U Republici Hrvatskoj Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva 2014. godine donosi službeni Pravilnik o gospodarenju otpadnim električnim i elektroničkim uređajima i opremom (NN 42/2014). Razlog nastanka Pravilnika je prikupljanje električkog i elektroničkog otpada te njegovo zbrinjavanje. Navedene su obaveze prema proizvođačima koji su dužni osigurati da se proizvod sastoji od što manje štetnih i opasnih tvari, da se uporabljaju reciklirani materijali te da dotrajavao proizvod ne šteti ljudima i okolišu. Na temelju koncesije sakupljači i obrađivači stječu prava na sakupljanje i obradu električnog i elektroničkog otpada koji ga moraju preuzeti unutar 30 dana od poziva bez naplate [18, 19].

Ovlašteni sakupljači električnog i elektroničkog otpada:

- Tvrtka Flora VTC d.o.o. na području cijele Republike Hrvatske
- Tvrtka CE-ZA-R d.o.o. za Grad Zagreb, Zagrebačku županiju i Krapinsko-zagorsku županiju.
- Tvrtka METIS d.d. za Primorsko-goransku županiju, Istarsku županiju i Ličko-senjsku županiju.

Ovlašteni obrađivači električnog i elektroničkog otpada:

- Tvrtka CE-ZA-R d.o.o.
- Tvrtka SPECTRA MEDIA d.o.o.

Cilj odvojenog sakupljanja od 2019. godine je postizanje stope od 65% dobivene kada se ukupna masa električnog i elektroničkog otpada sakupljenog iz kućanstva u godini podijeli sa prosječnom masom električne i elektroničke opreme stavljene na tržište u prethodne tri godine.

3. USPOREDBA RECIKLIČNOSTI PRIJENOSNIH RAČUNALA

Metoda vrednovanja recikličnosti provodi se kako bi se utvrdio potencijal preradivosti proizvoda u reciklat. Pomoću metode vrednovanja recikličnosti pronalazi se način na koji će se recikliranje provesti te utjecaj na daljnji napredak u konstruiranju i proizvodnji uređaja.

3.1. Postupak mjerenja

Za provedbu analize vrednovanja recikličnosti odabrana su dva prijenosna računala različitih karakteristika što ovisi o godini proizvodnje, a rezultira različitim konstrukcijskim izvedbama i primijenjenim materijalima. Prije početka rastavljanja uređaji su fotografirani i popisane su tehničke karakteristike odabranih računala:

- naziv proizvoda
- masa
- proizvođač
- uzrok dotrajanja
- godina proizvodnje
- datum obrade

Kako bi analiza bila što točnija i uspješno provedena, korišteni su različiti alati i mjerna oprema:

- ručni alat (ravni odvijač, križni odvijač, zvjezdasti odvijač, kliješta)
- mjerni pribor : elektronska vaga - mjernog opsega 0-5000 g, točnost očitavanja 0,1 g)
- mobitel (štoperica, fotoaparati)
- radni stol

Zbog složenosti analiziranja recikličnosti prijenosnih računala, a u cilju što učinkovitije provedbe iste, sudjelovale su dvije osobe. Jedna osoba je rastavljala, snimala fotoaparatom, diktirala podatke za unaprijed priređene tablice i mjerila masu pojedinih dijelova, a pomoćnik je zapisivao podatke u tablice i mjerio vrijeme. Nakon što su uređaji rastavljeni fotografirani su u dijelovima. Na osnovu izmjerenih vremena odvajanja računala se kumulativno vrijeme odvajanje, vrsta elemenata (PE- pomoćni element, SK- sklop, SE- sastavni element), unosi se stupanj recikličnosti za pojedini element, masa elemenata i recikličnost elemenata. Na kraju se računala recikličnost proizvoda R.

3.2. Analiza recikličnosti prijenosnog računala Acer N15W4

Prijenosno računalo Acer N15W4 je kompaktni multifunkcionalan elektronički uređaj za kućnu ili uredsku uporabu, proizvođača Acer, mase 1973,8 grama. Proizvedeno je 2016. godine, stanje je vrlo loše jer su vidljiva fizička oštećenja te se uređaj ne može koristiti. Analiza rastavljanja i recikličnosti provedena je 27.06.2020. godine. Analizirano prijenosno računalo prikazano je na slici 3.1.



Slika 3.1. Prijenosno računalo Acer N15W4 prije rastavljanja

U tablici 3.1. prikazani su podaci provedene analize rastavljanja koja se sastoji od pojedinih operacija rastavljanja, vremena rastavljanja i alata koji je korišten pri svakoj operaciji uz opasku gdje je to potrebno.

Tablica 3.1. Analiza rastavljanja prijenosnog računala Acer N15W4

| Naziv proizvoda: Acer N15W4 | | VRIJEME RASTAVLJANJA | | Datum: 27.6.2020. | |
|-----------------------------|--|---------------------------------|-------------------------------|-------------------|---------------------|
| Red. broj | Naziv operacije | Vrijeme odvajanja | Kumulativno vrijeme odvajanja | Alat | OPASKA |
| | | sek | sek | | |
| 1 | Odvrtanje vijaka donjeg kućišta i skidanje poklopca | 119 | 119 | Odvijač | Dugo trajanje |
| 2 | Odvajanje priključka tipkovnice | 2 | 121 | Ručno | |
| 3 | Odvajanje konektora i kabela pričvršćenih na matičnu ploču | 18 | 139 | Ručno | |
| 4 | Izvlačenje plastike koja je umjesto DVD drivea | 2 | 141 | Ručno | |
| 5 | Odvrtanje vijka i skidanje baterije | 3 | 144 | Odvijač | |
| 6 | Odljepljivanje stiropova | 2 | 146 | Ručno | |
| 7 | Skidanje zvučnika | 6 | 152 | Ručno | |
| 8 | Odvrtanje vijka i skidanje tvrdog diska | 8 | 160 | Ručno | |
| 9 | Odvrtanje vijaka i skidanje matične ploče | 18 | 178 | Odvijač | |
| 10 | Odvrtanje vijaka i skidanje ventilatora sa matične ploče | 19 | 197 | Odvijač | |
| 11 | Odvajanje cmos baterije sa matične ploče | 2 | 199 | Ručno | |
| 12 | Skidanje RAM memorije | 3 | 202 | Ručno | |
| 13 | Odvrtanje vijaka i odvajanje ventilatora sa bakrenog hladnjaka | 23 | 225 | Odvijač | |
| 14 | Skidanje USB porta sa kućišta | 2 | 227 | Ručno | |
| 15 | Skidanje internet kartice | 2 | 229 | Ručno | |
| 16 | Odvrtanje vijaka ekrana | 15 | 244 | Odvijač | |
| 17 | Skidanje 3.5mm audio ulaza | 1 | 245 | Ručno | |
| 18 | Odvrtanje matica koje drže gornje i donje kućište zajedno | 50 | 295 | Kliješta | Teško za pristupiti |
| 19 | Skidanje podloški matica i plastičnog okvira oko ekrana | 22 | 317 | Ručno | |

| | | | | | |
|----|---|----|-----|----------|---------------|
| 20 | Odvrtanje vijaka i skidanje prednjeg metalnog okvira ekrana | 51 | 368 | Odvijač | |
| 21 | Skidanje web kamere | 7 | 375 | Ručno | |
| 22 | Skidanje stražnjeg metalnog okvira ekrana | 5 | 380 | Ručno | |
| 23 | Skidanje bijelog papira ekrana | 1 | 381 | Ručno | |
| 24 | Skidanje prozirnih folija ekrana | 2 | 383 | Ručno | |
| 25 | Odvajanje kabela od tiskane ploče ekrana | 2 | 385 | Ručno | |
| 26 | Odvrtanje vijaka tiskane pločice ekrana | 13 | 398 | Odvijač | |
| 27 | Skidanje plastike sa okvira ekrana | 2 | 400 | Ručno | |
| 28 | Skidanje prednje plastične ploče ekrana | 10 | 410 | Ručno | |
| 29 | Skidanje trake touchpada | 2 | 412 | Ručno | |
| 30 | Odvajanje touchpada od metalnog okvira | 10 | 422 | Ručno | |
| 31 | Odvajanje okvira tipkovnice | 45 | 467 | Odvijač | Problematično |
| 32 | Odvajanje metalnog okvira tipkovnice | 7 | 475 | Ručno | |
| 33 | Odvajanje kabela od webkamere | 3 | 477 | Kliješta | |
| 34 | Odvajanje kabela zvučnika i baterije | 5 | 482 | Kliješta | |
| 35 | Odvrtanje vijaka tvrdog diska | 72 | 554 | Odvijač | |
| 36 | Skidanje gornjeg metalnog poklopca | 4 | 558 | Ručno | |
| 37 | Odvrtanje vijaka tiskane pločice | 58 | 616 | Odvijač | |
| 38 | Skidanje tiskane pločice i čitača diska | 13 | 629 | Ručno | |

Iz tablice 3.1. može se vidjeti da je uređaj rastavljen u 629 sekundi (nešto više od 10,48 minuta) u 38 operacija. Najviše vremena potrošeno je na odvrtnje vijaka i matica do koje treba doći za odvajanje donjeg i gornjeg kućišta. Osim teškog pristupa maticama bio je prisutan još jedan problem kod odvajanja okvira od tipkovnice za kojeg je bilo potrebna kombinacija odvijača i sile. Ostalo je lako rastavljivo ručno. Elementi prijenosnog računala Acer N15W4 nakon analize rastavljanja prikazani su na slici 3.2.



Slika 3.2. Prijenosno računalo Acer N15W4 rastavljeno u dijelove

Također u tablici 3.2. prikazani su pojedini elementi rastavljenog prijenosnog računala te vrsta elementa (SE-sastavni element, PE- pomoćni element, SK-sklop), vrsta materijala elementa, masa elementa, ukupan broj komada pojedinog elementa, stupnja recikličnosti, mase elemenata koja se dobiva množenjem mase jednog dijela sa ukupnim brojem komada po proizvodu i recikličnost elementa koja se dobiva množenjem ukupne mase elemenata sa stupnjem recikličnosti.

Tablica 3.2. Analiza recikličnosti prijenosnog računala Acer N15W4

| Naziv proizvoda: Acer N15W4 | | | | | Masa: 1973,8 grama | | | |
|-----------------------------|--------------------------------|-----------------------------|------------------|---------------|---------------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------------|
| Proizvođač: Acer | | | | | Uzrok dotrajanja: Mehanički lom | | | |
| God. proizvodnje: 2016. | | | | | Datum obrade: 27.6.2020. | | | |
| Redni broj | Naziv elementa | Vrsta elementa (SE, PE, SK) | Vrsta materijala | Masa elementa | Komada po proizvodu | Stupanj recikličnosti | Masa elemenata (5x6) | Recikličnost elementa (8x9) |
| | | | | g/kom | kom | 0...5 | grama | |
| i | | | vm_i | m_i | b_i | r_i | $m_i * b_i$ | $m_i * b_i * r_i$ |
| 1 | Donji dio kućišta | SK | Čelik+polimer | 271,5 | 1 | 4 | 271,5 | 1086,0 |
| 2 | Gornji dio kućišta | SK | Čelik+polimer | 228,1 | 1 | 4 | 228,1 | 912,4 |
| 3 | Gornji dio tipkovnice | SK | Čelik+polimer | 146,0 | 1 | 4 | 146,0 | 584,0 |
| 4 | Metalni podmetač tipkovnice | SE | Čelik | 204,4 | 1 | 5 | 204,4 | 1022,0 |
| 5 | Gornji poklopac donjeg kućišta | SK | Čelik+polimer | 170,0 | 1 | 4 | 170,0 | 680,0 |
| 6 | Plastični dio DVD drivea | PE | Polimer | 42,0 | 1 | 2 | 42,0 | 84,0 |
| 7 | Baterija | SK | Opasni otpad | 176,8 | 1 | 0 | 176,8 | 0,0 |
| 8 | Tiskana pločica touchpada | SK | Opasni otpad | 20,1 | 1 | 0 | 20,1 | 0,0 |
| 9 | Postolje touchpada | SE | Čelik | 42,6 | 1 | 5 | 42,6 | 213,0 |
| 10 | Matična ploča s procesorom | SK | Opasni otpad | 80,8 | 1 | 0 | 80,8 | 0,0 |
| 11 | RAM memorija | SK | Opasni otpad | 6,9 | 1 | 0 | 6,9 | 0,0 |
| 12 | Tiskana pločica ekrana | SK | Opasni otpad | 6,3 | 1 | 0 | 6,3 | 0,0 |
| 13 | Zvučnik | SK | Čelik+polimer | 7,6 | 2 | 4 | 15,2 | 60,8 |
| 14 | Tiskana pločica USB porta | SK | Opasni otpad | 8,0 | 1 | 0 | 8,0 | 0,0 |

| | | | | | | | | |
|----|---------------------------------|----|---------------|------|------------|---|---------------|---------------|
| 15 | Poklopac ventilatora sa cijevi | SK | Željezo+bakar | 20,3 | 1 | 3 | 20,3 | 60,9 |
| 16 | Stražnji okvir ekrana | SE | Čelik | 17,5 | 1 | 5 | 17,5 | 87,5 |
| 17 | Prednji okvir ekrana sa šarkama | SE | Čelik | 81,4 | 1 | 5 | 81,4 | 407,0 |
| 18 | CMOS baterija | SK | Opasni otpad | 2,9 | 1 | 0 | 2,9 | 0,0 |
| 19 | Internet kartica | SK | Opasni otpad | 1,8 | 1 | 0 | 1,8 | 0,0 |
| 20 | Vijak 8x4 | SE | Čelik | 0,2 | 13 | 5 | 2,6 | 13,0 |
| 21 | Vijak 4x7 | SE | Čelik | 0,1 | 28 | 5 | 2,8 | 14,0 |
| 22 | Vijak 3x4 | SE | Čelik | 0,1 | 20 | 5 | 2,0 | 10,0 |
| 23 | Matica | SE | Čelik | 0,3 | 2 | 5 | 0,6 | 3,0 |
| 24 | Podloška | SE | Čelik | 0,3 | 12 | 5 | 3,6 | 18,0 |
| 25 | Ventilator procesora | SK | Čelik+polimer | 16,8 | 1 | 4 | 16,8 | 67,2 |
| 26 | Web kamera | SK | Opasni otpad | 1,2 | 1 | 0 | 1,2 | 0,0 |
| 27 | 3,5mm audio ulaz | SK | Čelik+polimer | 2,8 | 1 | 5 | 2,8 | 14,0 |
| 28 | Kabeli | SK | Bakar+polimer | 9,4 | 1 | 4 | 9,4 | 37,6 |
| 29 | Prozirni polimer ekrana | PE | Polimer | 67,8 | 4 | 2 | 271,2 | 542,4 |
| 30 | Tiskana pločica tvrdog diska | SK | Opasni otpad | 13,6 | 1 | 0 | 13,6 | 0,0 |
| 31 | Čitač diska | SK | Opasni otpad | 11,5 | 1 | 0 | 11,5 | 0,0 |
| 32 | Vodilice tvrdog diska | SE | Čelik | 5,6 | 2 | 5 | 11,2 | 56,0 |
| 33 | Ostalo tvrdog diska | SK | Čelik+polimer | 65,0 | 1 | 4 | 65,0 | 260,0 |
| 34 | Ostalo | SK | Čelik+polimer | 16,9 | 1 | 4 | 16,9 | 67,6 |
| 35 | UKUPNO | | | | 109 | | 1973,8 | 6300,4 |

Tablica 3.2 prikazuje da se uređaj sastoji od 109 elemenata. Ukupna masa prijenosnog računala prije rastavljanja jednaka je ukupnog masi nakon rastavljanja. Nakon određivanja elementarnih pokazatelja, računaju se složeni pokazatelji te se ocjena recikličnosti proizvoda dobiva prema izrazu (2-4).

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n b_i \cdot m_i \cdot r_i}{M \cdot r_{max}} = \frac{6300,4}{1973,8 * 5} = 0,64$$

Poželjne vrijednosti recikličnosti su od 0,75 do 1. Prijenosno računalo Acer ima ocjenu recikličnosti 0,64, što upućuje da je potrebno provesti selektivno rastavljanje ili rekonstrukcija proizvoda. Ocjena je relativno niska zbog visokog udjela sklopova tj. primijenjenih složenih materijala posebno metalnih čahura u polimernim kućištima, te dugog trajanja rastavljanja.

3.3. Analiza recikličnosti prijenosnog računala HP T60M283.00

Prijenosno računalo HP T60M283.00 je kompaktni multifunkcionalan elektronički uređaj za kućnu ili uredsku uporabu, proizvođača HP, mase 2679,8 grama. Proizvedeno je 2009. godine, bez vidljivog vanjskog oštećenja. Uzrok odbacivanja je tehnološka zastarjelost. Analiza rastavljanja i recikličnosti provedena je 27.06.2020. godine. Analizirano prijenosno računalo prikazano je na slici 3.3.



Slika 3.3. Prijenosno računalo HP T60M283.00 prije rastavljanja

U tablici 3.3. prikazani su podaci dobiveni analizom rastavljanja koja se sastoji od pojedinih operacija rastavljanja, vremena rastavljanja i alata koji je korišten pri svakoj operaciji uz opasku gdje je to potrebno.

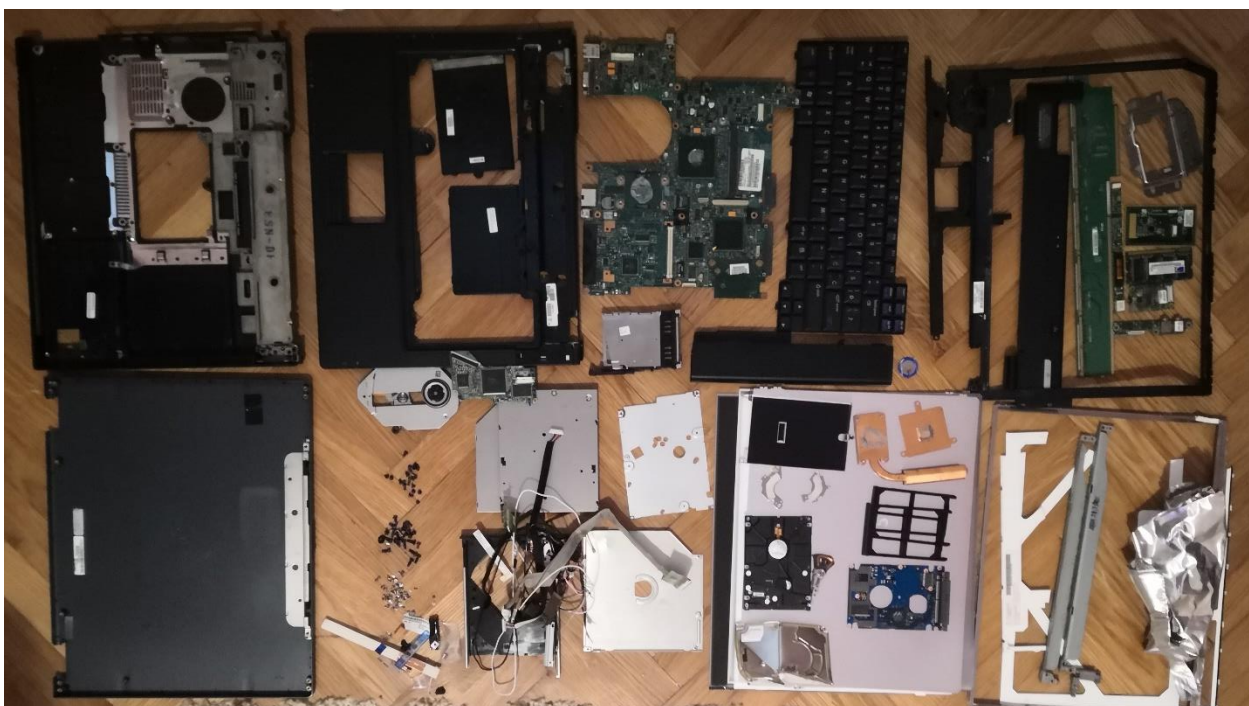
Tablica 3.3. Analiza rastavljanja prijenosnog računala HP T60M283.00

| Naziv proizvoda: HP T60M283.00 | | VRIJEME RASTAVLJANJA | | Datum: 27.6.2020. | |
|--------------------------------|--|---------------------------------|-------------------------------------|-------------------|--------|
| Redni broj | Naziv operacije | Vrijeme odvajanja | Kumulativno vrijeme odvajanja | Alat | OPASKA |
| | | sek | sek | | |
| 1 | Skidanje baterije | 2 | 2 | Ručno | |
| 2 | Odvrtanje vijka i skidanje prvog stražnjeg poklopca | 6 | 8 | Odvijač | |
| 3 | Skidanje RAM memorije | 3 | 11 | Ručno | |
| 4 | Odvrtanje vijka i skidanje drugog stražnjeg poklopca | 7 | 18 | Odvijač | |
| 5 | Odvrtanje vijka tvrdog diska | 3 | 21 | Odvijač | |
| 6 | Skidanje plastičnih ladica | 2 | 23 | Ručno | |
| 7 | Odvrtanje vijaka donjeg kućišta | 150 | 173 | Odvijač | |
| 8 | Skidanje trake tipkovnice | 3 | 176 | Ručno | |
| 9 | Skidanje tipkovnice | 2 | 178 | Ručno | |
| 10 | Skidanje donjeg kućišta i DVD diska | 5 | 183 | Ručno | |
| 11 | Skidanje kabela i odvrtnje vijka zvučne kartice | 8 | 191 | Odvijač | |
| 12 | Skidanje zvučne kartice | 2 | 193 | Ručno | |
| 13 | Odvrtanje vijaka bakrenog poklopca GPUa | 15 | 208 | Odvijač | |
| 14 | Skidanje bakrenog poklopca i konektora ventilatora | 4 | 212 | Ručno | |
| 15 | Odvrtanje vijaka i skidanje bakrenog poklopca CPUa | 39 | 251 | Odvijač | |
| 16 | Odvrtanje vijaka ventilatora | 10 | 261 | Odvijač | |
| 17 | Skidanje ventilatora | 1 | 262 | Ručno | |
| 18 | Odvrtanje vijaka i skidanje internet kartice | 10 | 272 | Odvijač | |
| 19 | Odvrtanje vijaka i skidanje poklopca matične ploče i matične ploče | 56 | 328 | Odvijač | |
| 20 | Odvajanje gornje kućišta od donjeg | 15 | 343 | Odvijač | |
| 21 | Skidanje gumica vijaka na gornjem kućištu | 10 | 353 | Odvijač | |

| | | | | | |
|----|--|-----|-----|----------|--|
| 22 | Odvrtanje vijaka gornjeg dijela kućišta | 115 | 467 | Odvijač | |
| 23 | Skidanje prednjeg poklopca gornjeg dijela kućišta | 2 | 468 | Ručno | |
| 24 | Odvrtanje vijaka metalnog okvira ekrana | 12 | 480 | Odvijač | |
| 25 | Odvajanje ekrana od kućišta | 3 | 483 | Ručno | |
| 26 | Odvrtanje vijaka i skidanje metalnog okvira ekrana | 49 | 532 | Odvijač | |
| 27 | Kidanje aluminijske folije sa stražnje strane ekrana | 7 | 539 | Ručno | |
| 28 | Skidanje tiskane pločice ekrana | 11 | 550 | Ručno | |
| 29 | Skidanje plastičnog stražnjeg dijela ekrana, plastičnih folija i prozirne ploče ekrana | 26 | 576 | Kliješta | |
| 30 | Odvrtanje vijaka DVD drivea | 16 | 592 | Odvijač | |
| 31 | Skidanje prednjeg metalnog poklopca DVD drivea | 1 | 593 | Ručno | |
| 32 | Odvrtanje vijaka stražnjeg poklopca DVD drivea | 25 | 618 | Odvijač | |
| 33 | Skidanje stražnjeg poklopca DVD drivea | 3 | 621 | Ručno | |
| 34 | Odvrtanje vijaka tiskane pločice DVD drivea | 10 | 631 | Odvijač | |
| 35 | Skidanje tiskane pločice DVD drivea | 1 | 632 | Ručno | |
| 36 | Odvrtanje vijaka lasera DVD drivea | 11 | 643 | Odvijač | |
| 37 | Skidanje lasera DVD drivea | 2 | 645 | Ručno | |
| 38 | Odvrtanje vijaka tvrdog diska | 50 | 695 | Odvijač | |
| 39 | Skidanje metalnog poklopca tvrdog diska | 2 | 697 | Ručno | |
| 40 | Odvrtanje vijaka i skidanje tiskane pločice tvrdog diska | 48 | 766 | Odvijač | |
| 41 | Skidanje čitača diska i metalnih vodilica tvrdog diska | 21 | 787 | Ručno | |
| 42 | Skidanje CMOS baterije i metalne pločice touchpada | 14 | 801 | Ručno | |
| 43 | Skidanje touchpada | 1 | 802 | Ručno | |
| 44 | Odvrtanje vijaka prostora za ladice na matičnoj ploči | 13 | 815 | Odvijač | |
| 45 | Skidanje prostora za ladice na matičnoj ploči | 3 | 818 | Ručno | |

Iz tablice 3.3. vidljivo je kako je uređaj je rastavljen u 818 sekundi (nešto više od 13,63 minuta) u 45 operacija. Pri rastavljanju nije bilo posebnih poteškoća i proteklo je relativno lagano. Najviše vremena potrošeno je na odvijanje vijaka.

Unatoč tome što je na novijem prijenosnom računalu Acer N15W4 bilo problema kod teškog pristupa maticama za odvajanje gornjeg i donjeg dijela kućišta te odvajanje okvira tipkovnice, rastavljanje starijeg modela HP T60M283.00 ipak je proteklo sporije. Dijelovi prijenosnog računala HP T60M283.00 nakon analize rastavljanja prikazani su na slici 3.4.



Slika 3.4. Prijenosno računalo HP T60M283.00 rastavljeno u dijelove

U tablici 3.4. prikazani su pojedini elementi rastavljenog prijenosnog računala HP T60M283.00 te vrsta elementa (SE-sastavni element, PE- pomoćni element, SK-sklop), vrsta materijala elementa, masa elementa, ukupan broj komada pojedinog elementa, stupnja recikličnosti, mase elemenata koja se dobiva množenjem mase jednog dijela sa ukupnim brojem komada po proizvodu i recikličnost elementa koja se dobiva množenjem ukupne mase elemenata sa stupnjem recikličnosti.

Tablica 3.4. Analiza recikličnosti prijenosnog računala HP T60M283.00

| Naziv proizvoda: HP T60M283.00 | | | | | Masa: 2535.2 grama | | | | |
|--------------------------------|-----------------------------|-------------------------|------------------|---------------|---|-----------------------|----------------------|-----------------------------|--------|
| Proizvođač: HP | | | | | Uzrok dotrajanja: Tehnološka zastarjelost | | | | |
| God. proizvodnje: 2009. | | | | | Datum obrade: 27.6.2020. | | | | |
| Redni broj | Naziv elementa | Vrsta elementa (SE, PE, | Vrsta materijala | Masa elementa | Komada po proizvodu | Stupanj recikličnosti | Masa elemenata (5x6) | Recikličnost elementa (8x9) | OPASKA |
| | | | | g/kom | kom | 0...5 | grama | | |
| i | | | vm_i | m_i | b_i | r_i | $m_i * b_i$ | $m_i * b_i * r_i$ | |
| 1 | Donji dio kućišta | SK | Čelik+ polimer | 266,7 | 1 | 4 | 266,7 | 1066,8 | |
| 2 | Gornji dio kućišta | SK | Čelik+ polimer | 183,3 | 1 | 4 | 183,3 | 733,2 | |
| 3 | Matična ploča | SK | Opasni otpad | 240,0 | 1 | 0 | 240,0 | 0,0 | |
| 4 | Plastični prostor za ladice | SK | Čelik+ polimer | 26,5 | 1 | 4 | 26,5 | 106,0 | |
| 5 | Tipkovnica | SK | Čelik+ polimer | 134,4 | 1 | 4 | 134,4 | 537,6 | |
| 6 | Baterija | SK | Opasni otpad | 304,4 | 1 | 0 | 304,4 | 0,0 | |
| 7 | 1. stražnji poklopac | PE | Polimer | 15,6 | 1 | 2 | 15,6 | 31,2 | |
| 8 | 2. stražnji poklopac | PE | Polimer | 12,9 | 1 | 2 | 12,9 | 25,8 | |
| 9 | Zaštita za matičnu ploču | SK | Čelik+ polimer | 23,7 | 1 | 4 | 23,7 | 94,8 | |
| 10 | Ventilator | SK | Čelik+ polimer | 18,1 | 1 | 4 | 18,1 | 72,4 | |
| 11 | CMOS baterija | SK | Opasni otpad | 1,7 | 1 | 0 | 1,7 | 0,0 | |
| 12 | Prednji dio gornjeg kućišta | SK | Čelik+ polimer | 37,5 | 1 | 4 | 37,5 | 150,0 | |
| 13 | Tiskana pločica ekrana | SK | Opasni otpad | 2,5 | 1 | 0 | 2,5 | 0,0 | |
| 14 | Prednji rub ekrana | PE | Polimer | 29,0 | 1 | 2 | 29,0 | 58,0 | |

| | | | | | | | | | |
|----|-------------------------------|----|----------------|-------|---|---|-------|--------|--|
| 15 | Stražnji poklopac ekrana | PE | Polimer | 36,7 | 1 | 2 | 36,7 | 73,4 | |
| 16 | Aluminijska folija ekrana | SE | Aluminij | 21,2 | 1 | 5 | 21,2 | 106,0 | |
| 17 | Plastična ploča ekrana | PE | Polimer | 402,6 | 1 | 2 | 402,6 | 805,2 | |
| 18 | Folija ekrana | PE | Polimer | 10,2 | 4 | 2 | 40,8 | 81,6 | |
| 19 | Stražnji dio gornjeg kućišta | SK | Čelik+ polimer | 250,7 | 1 | 4 | 250,7 | 1002,8 | |
| 20 | Metalni okvir ekrana | SE | Čelik | 65,6 | 1 | 5 | 65,6 | 328,0 | |
| 21 | Metalni okvir touchpada | SE | Čelik | 16,5 | 1 | 5 | 16,5 | 82,5 | |
| 22 | Tiskana pločica touchpada | SK | Opasni otpad | 7,4 | 1 | 0 | 7,4 | 0,0 | |
| 23 | Internet kartica | SK | Opasni otpad | 5,1 | 1 | 0 | 5,1 | 0,0 | |
| 24 | Zvučna kartica | SK | Opasni otpad | 6,3 | 1 | 0 | 6,3 | 0,0 | |
| 25 | RAM memorija | SK | Opasni otpad | 9,8 | 1 | 0 | 9,8 | 0,0 | |
| 26 | Bakrena pločica sa cijevi | SE | Bakar | 46,1 | 1 | 5 | 46,1 | 230,5 | |
| 27 | Bakrena pločica GPUa | SE | Bakar | 11,3 | 1 | 5 | 11,3 | 56,5 | |
| 28 | Ladice za karticu | PE | Polimer | 3,0 | 2 | 2 | 6,0 | 12,0 | |
| 29 | Tiskana pločica tvrdog diska | SK | Opasni otpad | 13,7 | 1 | 0 | 13,7 | 0,0 | |
| 30 | Metalni poklopac tvrdog diska | SE | Čelik | 13,5 | 1 | 5 | 13,5 | 67,5 | |

| | | | | | | | | | |
|----|-----------------------------|----|----------------|------|------------|---|---------------|---------------|--|
| 31 | Vodilice tvrdog diska | SE | Čelik | 5,6 | 2 | 5 | 11,2 | 56,0 | |
| 32 | Čitač tvrdog diska | SK | Opasni otpad | 11,3 | 1 | 0 | 11,3 | 0,0 | |
| 33 | Ostalo tvrdi disk | SK | Čelik+ polimer | 37,5 | 1 | 4 | 37,5 | 150,0 | |
| 34 | Prednji poklopac DVD drivea | SE | Čelik | 21,6 | 1 | 5 | 21,6 | 108,0 | |
| 35 | Donji poklopac DVD drivea | SK | Čelik+ polimer | 35,8 | 1 | 4 | 35,8 | 143,2 | |
| 36 | Kućište DVD drivea | SK | Čelik+ polimer | 37,5 | 1 | 4 | 37,5 | 150,0 | |
| 37 | Tiskana pločica DVD drivea | SK | Opasni otpad | 15,1 | 1 | 0 | 15,1 | 0,0 | |
| 38 | Laser DVD drivea | SK | Opasni otpad | 71,5 | 1 | 0 | 71,5 | 0,0 | |
| 39 | Kabel | SK | Bakar+ polimer | 25,5 | 1 | 0 | 25,5 | 0,0 | |
| 40 | Vijak 5x9 | SE | Čelik | 0,3 | 22 | 5 | 6,6 | 33,0 | |
| 41 | Vijak 5x3 | SE | Čelik | 0,2 | 4 | 5 | 0,8 | 4,0 | |
| 42 | Vijak 4x6 | SE | Čelik | 0,2 | 30 | 5 | 6,0 | 30,0 | |
| 43 | Vijak 3x4 | SE | Čelik | 0,1 | 52 | 5 | 5,2 | 26,0 | |
| 44 | | | | | 152 | | 2535,2 | 6422,0 | |

Iz tablice 3.4 vidljivo je da se uređaj sastoji od 152 dijela. Ukupna masa prijenosnog računala prije rastavljanja jednaka je ukupnog masi nakon rastavljanja. Nakon određivanja elementarnih pokazatelja, računaju se složeni pokazatelji te se ocjena recikličnosti proizvoda dobiva prema izrazu (2-4).

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n b_i \cdot m_i \cdot r_i}{M \cdot r_{max}} = \frac{6422,4}{2535,2 \cdot 5} = 0,51$$

Prijenosno računalo HP ima ocjenu recikličnosti 0,51 što je vrlo nisko te je potrebno selektivno rastavljanje ili rekonstrukcija proizvoda. Razlozi tako niske ocjene su dugo rastavljanje zbog velikoj broja vijaka, velik udio složenog materijala (sklopova) koji se sastoje od polimera i metalnih čahura te tiskane pločice i baterije koje pripadaju u opasni otpad.

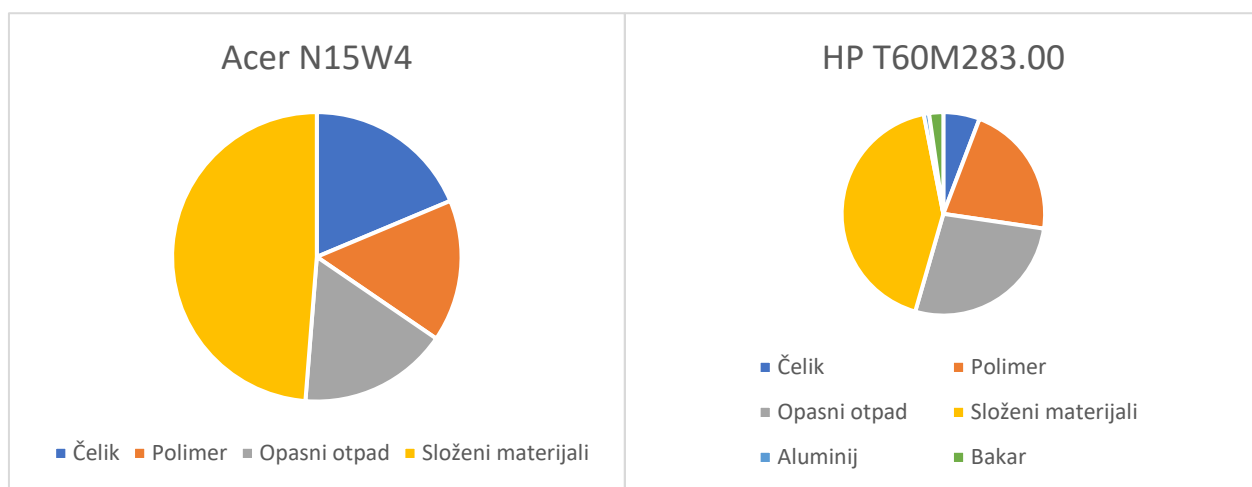
3.4. Usporedba provedene analize prijenosnih računala

Nakon provedene analize dobiveni su rezultati u kojima je prema izrazu (2-4) dobivena recikličnosti za prijenosno računalo Acer $R=0,64$, a za HP $R=0,51$. Tablica 3.5. prikazuje usporedbu masa pojedinih materijala u analiziranim prijenosnim računalima.

Tablica 3.5. Usporedba masa materijala prijenosnih računala

| | Acer N15W4 | HP T60M283.00 |
|--------------------|------------|---------------|
| Naziv materijala | Masa [g] | Masa [g] |
| Čelik | 368,7 | 147,3 |
| Polimer | 313,2 | 543,6 |
| Opasni otpad | 329,9 | 688,8 |
| Složeni materijali | 962 | 1077,2 |
| Aluminij | - | 21,2 |
| Bakar | - | 57,4 |
| UKUPNO | 1973,8 | 2535,2 |

Iz slike 3.5. vidljiv je odnos udjela materijala u pojedinom uređaju te opravdava relativno niske ocjene recikličnosti. Oba uređaja imaju visok udio složenih materijala, skoro polovicu. Razlog je što se u plastičnim kućištima nalaze metalne čahure za vijke, zavarene bakreni hladnjaci sa čeličnim nosačima što uveliko smanjuje recikličnost i otežava recikliranje. Polimeri su nepoznate vrste što smanjuje stupanj recikličnosti pojedinog elementa s ocijene 5 na 2, (organski materijal, ne može se reciklirati). Prisutan je i veliki udio opasnog otpada, a razlog tomu su baterije i tiskane pločice koji su glavni dijelovi uređaja, a ocjena recikličnosti im je 0.



Slika 3.5. Grafikonski prikaz udjela materijala

Kao što je navedeno u uvodnom dijelu sami proizvođači tj. konstruktori imaju veliku ulogu u konstruiranju kako bi proizvodi imali što bolje tehničko, ekonomsko i uporabno svojstvo te moraju ostvariti sljedeće konstrukcijske smjernice:

- Omogućiti lagano rastavljanje proizvoda
- Smanjiti količinu materijala i težiti manjoj masi proizvoda
- Supstitucija materijala - odnosi se na zamjenu skupih sirovina jeftinijim
- Koristiti već reciklirane sirovine
- Označavati dijelove proizvoda kako bi se lakše prepoznala vrsta materijala - najvažnije za polimere
- Koristiti lako reciklirajuće materijale
- Smanjiti broj različitih vrsta materijala

Konstrukcijske smjernice odnose se na analizirana prijenosna računala te se mogu primijeniti u budućem projektiranju i konstruiranju uređaja.

4. PREPORUKE ZBRINJAVANJA PRIJENOSNIH RAČUNALA

Ovisno o razlogu odbacivanja (kvaru, zastarjelost) nekog uređaja uputno bi bilo otkloniti kvar i ponovo koristiti uređaj u istu svrhu. Uzroci zbog kojih se uređaji odbacuju su dotrajalost, tehnološko i tržišno zastarijevanje te oštećenja.

Za uspješno zbrinjavanje prijenosnih računala potrebna je odgovarajuća infrastruktura sa svom neophodnom opremom i alatima. Nadalje, u cilju rastavljanja i usitnjavanja odvojenih komponenti odbačenih prijenosnih računala, sustavima razdvajanja uspješno razvrstati različite vrste materijala u finalni proizvodni tzv. reciklat. Za provedbu svih navedenih poslova i radnji, neophodan je dovoljan broj kvalificirane radne snage za rastavljanje i upravljanje pogonom kao i odgovarajuća transportna vozila. Jedno od mogućih rješenja je da se odbačena prijenosna računala prikupljaju u suradnji s trgovinama računalne opreme, kojim bi kupci donosili dotrajale uređaje i besplatnom uslugom odvoza uređaja dolaskom na kućnu adresu. Zbog velikih količina odbačenih prijenosnih računala i dugog vremena ručnog rastavljanja, bolja opcija bi bilo automatizirano rastavljanje. Ručnim rastavljanjem svakako dobijemo veću čistoću recyklata, ali ljudski rad je skup i trajao bi duže od automatiziranog procesa. Prema tablici 3.5. koja pokazuje visok udio opasnog otpada u oba uređaja ručno rastavljanje bilo bi važno da se ukloni (baterije, tiskane pločice, itd.). Na tržištu su dostupni različiti strojevi i oprema za daljnju obradu u cilju kvalitetnog recikliranja. Nakon odvajanja opasnog otpada preostali dio otpada usitnio bi se na manje komade *shredderom* tj. sjeckalicom, npr. Taskmaster TM 4000 tvrtke Franklin Miller inc.



Slika 4.1. Sjeckalica (e. *shredder*) za usitnjavanje otpada tvrtke Franklin Miller [20]

Navedeni *shredder* ima snagu motora 110kW i sposobnost usitnjavanja svih dijelova u ovom slučaju prijenosnih računala. Usitnjeni otpad sadrži veliki udio različitih metala, za što nam je potreban magnetski separator npr. FinesSort tvrtke Eriez kojeg prikazuje slika 4.2. Magneti su dovoljno jaki i za najmanje dijelove. Separator ima mogućnost odvajanja željeznih i neželjeznih metala (bakar, aluminij). Neželjezni metali se pomoću metode vrtložnih struja odvajaju od polimera.



Slika 4.2. Prikaz metalnog separatora FinesSort tvrtke Eriez [21]

Polimeri sadrži štetne tvari (BFR- bromirani usporivač gorenja) te se spaljuje na visokim temperatura kako ne bi došlo do oslobađanja otrovnog plina dioksina [22].

U Hrvatskoj se još ne primjenjuju složeniji procesi npr. izdvajanje plemenitih metala iz tiskanih ploča, dok npr. tvrtka Dell koristi reciklirano zlato iz starih računala za proizvodnju novih. Partnerska tvrtka Wistron odgovorna je za izvlačenje zlata iz matičnih ploča elektrokemijskim procesom te tako smanjuje utjecaj na okoliš, štedi novac i resurse. Jedna tona matičnih ploča sadrži 800 puta više zlata nego ruda zlata [23].

5. ZAKLJUČAK

U ovom završnom radu primijenjen je model vrednovanja recikličnosti na dva prijenosna računala različitih tehničkih karakteristika, proizvođača HP i Acer. Primijenjenim modelom provedena je analiza rastavljanja i analiza recikličnosti u cilju određivanja njihovog stupnja recikličnosti proizvoda.

U slučaju starijeg prijenosnog računala HP T60M283.00, bilo je potrebno 189 sekundi više za njegovo rastavljanje nego u slučaju kod novijeg prijenosnog uređaja Acer N15W4. Razlog dužeg rastavljanja nalazi se u većem broju sastavnih dijelova što je pak posljedica projektnog i konstrukcijskog rješenja. Zbog većeg broja sastavnih dijelova i njihovog načina povezivanja te sadržaja složenih materijala (čelik + polimer, bakar + polimer, čelik + bakar), u slučaju starijeg uređaja HP utvrđen je manji stupanj recikličnosti $R=0,51$ za razliku od novijeg uređaja Acer koji iznosi $R=0,64$. Zbog niske recikličnosti starijeg uređaja upitna je ekonomska opravdanost ovakvog načina zbrinjavanja. U slučaju novijeg uređaja koji s ocjenom recikličnosti $R=0,64$ pripada kategoriji selektivnog rastavljanja, ekonomska opravdanost bila bi moguća uz odvajanje masivnijih sastavnih dijelova izvedenih od "čistih" materijala uz obavezno odvajanje opasnog otpada kao što su baterije i tiskane pločice. Niske ocjene recikličnosti kod oba uređaja uzrokuje: visoki udio složenih materijala, opasnog otpada, neoznačenih polimernih dijelova i dugo vrijeme rastavljanja. Recikličnost bi se povisila, a time i isplativost, kada bi metalne čahure bile lagano uklonjive iz polimera i kraćim vremenom rastavljanja koje bi se postiglo kvalificiranom radnog snagom te primjenom boljeg alata i opreme.

Recikliranje ima ekološku i ekonomsku ulogu kojoj su temeljne prednosti ušteda prirodnih resursa, smanjenje potrebe za primarnim sirovinama, ušteda energije i stvaranje novih radnih mjesta. Sada i u budućnosti recikliranje je vrlo važna djelatnost za čovječanstvo koja neće dopustiti da se ugrozi koncept održivog razvoja. Mogućnost napretka recikliranja u području rastavljanja i razvrstavanja svakako je u primjeni robotizacije i umjetne inteligencije, koje se već koriste u nekim razvijenim zemljama. Zasada je proces skup, ali s vremenom isplativ zbog iznimno visoke učinkovitosti i produktivnosti te zamjenjuje čovjeka u teškom i opasnom radu.

LITERATURA

- [1] <https://www.intel.com/content/www/us/en/silicon-innovations/moores-law-technology.html> (10.7.2020.)
- [2] <https://www.iisd.org/about-iisd/sustainable-development#:~:text=%22Sustainable%20development%20is%20development%20that,to%20meet%20their%20own%20needs.%22> (10.7.2020.)
- [3] Veena Sahajwalla, Vaibhav Gaikwad, The present and future of e-waste plastics recycling, 2018. (26.9.2020.)
- [4] Hampus André, MariaLjunggren Söderman, AndersNordelöf, Resource and environmental impacts of using second-hand laptop computers: A case study of commercial reuse, Švedska, 2019. (26.9.2020.)
- [5] H. André, M. Ljunggren Söderman, A.-M. Tillman, Circular economy as a means to efficient use of scarce metals? Berlin, 2016. (26.9.2020.)
- [6] , David E. Meyer, John P. Katz, Analyzing the environmental impacts of laptop enclosures using screening-level life cycle assessment to support sustainable consumer electronics, SAD, 2016. (26.7.2020.)
- [7] Milan Kljajin, Milan Opalić, Antun Pintarić, Recikliranje električnih i elektroničkih uređaja, 2006. (30.5.2020.)
- [8] Milan Opalić, Milan Kljajin, Krešimir Vučković, Disassembly Layout in WEEE Recycling Process, 2009. (30.5.2020.)
- [9] <https://www.jordanreductionsolutions.com/machines/shredders/> (2.9.2020.)
- [10] <https://glenmills.com/product/sm-200-cutting-mill/> (15.6.2020.)
- [11] <https://trends.directindustry.com/netzsch-grinding-dispersing/project-16670-162623.html> (15.6.2020.)
- [12] <https://www.nihot.co.uk/products/drum/-separators/single-drum-separator/> (15.6.2020.)
- [13] https://energyeducation.ca/encyclopedia/Cyclone_separator (16.6.2020.)

- [14] <https://www.semanticscholar.org/paper/Methods-of-waste-separation-in-the-process-of-Va%C5%A1ko/49a36a838d8229e9a6a8ce2e9f79b7c8b5b1d0fa/figure/15> (16.6.2020.)
- [15] https://www.researchgate.net/figure/A-hydrocyclone-flow-schematic_fig1_43498098 (15.6.2020.)
- [16] Wu, J.; Li, J.; Zhenming, X.: Electrostatic separation for multi-size granule of crushed printed circuit board waste using two-roll separator, *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 159, No. 2-3 (2008) 230-234 (17.6.2020.)
- [17] Pintarić A: Prilog razvoju metoda vrednovanja recikličnosti materijala i proizvoda, Doktorska disertacija, FESB, Zagreb, 2001. (30.5.2020.)
- [18] https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2007_07_74_2327.html (2.6.2020.)
- [19] https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2014_04_42_782.html (2.6.2020.)
- [20] <https://franklinmiller.com/product/taskmaster-tm4000-shredder/> (9.7.2020.)
- [21] <https://www.eriez.eu/EU/EN/Products/Metals-Recycling/Nonferrous-Recovery/FinesSort-Separator.htm> (9.7.2020.)
- [22] [http://os-gornjevrpce-zg.skole.hr/upload/os-gornjevrpce-zg/images/static3/1275/attachment/Zbrinjavanje_otpadnih_elektricnih_i_elektronickih_ure_aja_i_opreme_\(EE_otpad\).pdf](http://os-gornjevrpce-zg.skole.hr/upload/os-gornjevrpce-zg/images/static3/1275/attachment/Zbrinjavanje_otpadnih_elektricnih_i_elektronickih_ure_aja_i_opreme_(EE_otpad).pdf) (9.7.2020.)
- [23] <https://www.dell.com/learn/ag/en/agcorp1/corp-comm/recycled-gold> (1.9.2020.)

SAŽETAK

U završnom radu prikazani su i pojednostavljeni osnovni pojmovi recikliranja, zakonska regulativa u Hrvatskoj vezana za električni i elektronički otpad. Pomoću metode vrednovanja provedena je analiza recikličnosti na primjeru dva prijenosna računala. Na kraju je predložen postupak zbrinjavanja.

Ključni pojmovi: prijenosno računalo, recikličnost, recikliranje

Abstract

Evaluating recyclability on the example of laptop

The final paper presents and simplifies basic concepts of recycling, legislation related to electrical and electronic waste in Croatia. Using the evaluation method, recyclability analysis was performed on the example of two laptops. Finally, a waste disposal procedure is proposed.

Key words: laptop, recyclability, recycling

ŽIVOTOPIS

Dominik Knajz, rođen je 27.srpnja 1995. godine u Osijeku. Osnovnu školu pohađao je i završio u Antunovcu. 2010. godine upisao je I. Gimnaziju Osijek koju završava 2014. godine. Iste godine upisuje Elektrotehnički fakultet u Osijeku, smjer Elektroenergetika.