

# Računalna podrška metodi vrednovanja recikličnosti proizvoda

---

Klarić, Tin

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

*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:200:518798>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-05-07**

*Repository / Repozitorij:*

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



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**  
**ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET**

**Stručni studij**

**RAČUNALNA PODRŠKA METODI VREDNOVANJA**  
**RECIKLIČNOSTI PROIZVODA**

**Završni rad**

**Tin Klarić**

**Osijek, 2016.**

# SADRŽAJ

|                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------|----|
| 1. UVOD .....                                               | 1  |
| 2. REKILIRANJE I METODA VREDNOVANJA REKILIČNOSTI.....       | 2  |
| 2.1 Recikliranje.....                                       | 2  |
| 2.1.1 Vrste recikliranja .....                              | 3  |
| 2.1.2 Postupak recikliranja .....                           | 4  |
| 2.1.3 Vrste materijala u EE-otpadu .....                    | 5  |
| 2.1.4 Prednosti recikliranja.....                           | 6  |
| 2.2 Metoda vrednovanja recikličnosti .....                  | 7  |
| 2.2.1 Elementarni pokazatelji za ocjenu recikličnosti ..... | 7  |
| 2.2.2 Složeni pokazatelji za ocjenu recikličnosti .....     | 10 |
| 2.2.3 Ocjena metode vrednovanja recikličnosti .....         | 12 |
| 3. IZRADA RAČUNALNE APLIKACIJE .....                        | 13 |
| 3.1 Visual Studio 2015 .....                                | 13 |
| 3.2 Programski jezik C# .....                               | 15 |
| 3.3 Proces izrade aplikacije .....                          | 16 |
| 4. APLIKACIJA RECYCLEAPP .....                              | 18 |
| 4.1 Izbornik RecycleApp-a.....                              | 19 |
| 4.2 Analiza rastavljanja .....                              | 20 |
| 4.3 Analiza recikličnosti .....                             | 21 |
| 4.4 Recikličnost proizvoda .....                            | 22 |
| 5. ZAKLJUČAK .....                                          | 23 |

## 1. UVOD

U počecima primjene recikliranja proizvodi su bili slabo ili nikako prilagođeni recikliranju a postupci nerazvijeni i skupi. To se odražavalo na slabiju kvalitetu reciklata što je usporilo primjenu recikliranja. Usavršavanjem postupaka i prilagođavanjem proizvoda recikliranju stanje se popravljalo. Većina se električnih i elektroničkih proizvoda sastoji od više desetaka pa i stotina dijelova koji su načinjeni od različitih materijala. S gledišta recikliranja bilo bi idealno da je proizvod načinjen od jedne vrste materijala. Ima i takvih slučajeva u praksi, ali su rijetkost. Težnja je onda imati što manje vrsta materijala. Neki se materijali tehnološki ne uklapaju, štete jedni drugima (npr. bakar u čeliku, metal u polimerima i sl.). Iz tih razloga se odlučilo uvesti novo svojstvo proizvoda pod nazivom recikličnost.

U ovome radu se obrađuje tema vrednovanja recikličnosti proizvoda, točnije računalna podrška toj metodi kako bi se olakšalo samo vrednovanje za proizvođače, uvoznike, krajnje korisnike i studente koji imaju predavanja iz tog polja. Uz vrednovanje recikličnosti također se dobije i točna informacija o isplativosti recikliranja tog proizvoda. Zadatak je napravljen pomoću aplikacije Microsoft Visual Studio 2015, dodatka za Visual Studio – Infragistics Ultimate(demo verzija) i pomoću predložaka za tablice rastavljanja i tablice recikličnosti električnih i elektroničkih proizvoda. Ovaj rad se sastoji od tri glavna poglavlja: recikliranje i vrednovanje recikličnosti gdje se govori o samoj teoriji recikliranja, izrada računalne aplikacije gdje su opisani programi korišteni u izradi i sam proces izrade aplikacije, te aplikacija RecycleApp gdje je opisana aplikacija i njezina funkcionalnost.

## 2. RECIKLIRANJE I METODA VREDNOVANJA RECIKLIČNOSTI

U samim je počecima primjena recikliranja kao postupka prerade nailazila na velike poteškoće što je povećavalo troškove, ali i smanjivalo zanimanje za iskorištavanje otpada. U konstruiranju su prevladavali tradicionalni zahtjevi funkcionalnosti, tehnoložnosti i eksploataбилnosti proizvoda. Ali s vremenom prerada otpada je postala nužnost. Sve je važnija postajala prikladnost dotrajalog proizvoda ekološkom i ekonomski prihvatljivo zbrinjavanju. Pojam „oporaba“ je predloženi prijevod za engleski „*recovery*“, a obuhvaća korištenje otpada kao materijala (dakle recikliranje) i korištenje otpada za dobivanje energije (najčešće spaljivanjem). Pod pojmom recikliranje misli se na preradu materijala radi njegovog ponovnog iskorištenja [1].

### 2.1 Recikliranje

Nakon isteka životnog vijeka nekog proizvoda (engl. EOL - *End of Life*), s ciljem uštede i ponovno uporabe sirovina te ekološki svjesnog ponašanja, treba pokušati u što većoj mjeri taj proizvod ponovno iskoristiti, odnosno reciklirati. Stoga se još u fazi razvoja proizvoda mora misliti na to, tako da već u fazi konstruiranja i oblikovanja preporuča se koristiti sljedeće smjernice za poboljšanje recikličnosti proizvoda:

- smanjenje količine materijala – boljim iskorištenjem materijala s manje otpada prilikom obrade
- supstitucija materijala – onih koji moraju biti proizvedeni od skupih sirovina s jeftinijim
- ponovna uporaba – recikliranih proizvoda ili dijelova proizvoda

S ekološke točke gledišta ponovna upotreba elektroničkih i električnih proizvoda kompenzira potrebu za proizvodnjom novih uređaja, te se na taj način štedi ugrađena energija proizvoda kao i materijal i kemikalije korišteni u procesu izrade proizvoda. Osim toga, treba uzeti u obzir da se životni vijek proizvoda u posljednjih nekoliko godina kontinuirano smanjuje, a troškovi popravaka su sve veći. Prosječni životni vijek osobnog računala pao je s oko 8 godina u 1990. i procjenjuje se da je bio nešto manje od dvije godine u 2010 [2].

### 2.1.1 Vrste recikliranja

Životni ciklus proizvoda počinje projektiranjem i izradom proizvoda, nastavlja se njegovom uporabom, a završava uklanjanjem dotrajalog proizvoda. Sagledavanjem proizvoda na ovaj način upućuje na sljedeće vrste recikliranja:

- recikliranje prije uporabe (tijekom proizvodnje)
- recikliranje tijekom uporabe
- recikliranje nakon uporabe

Kod recikliranja tijekom proizvodnje javlja se najmanje poteškoća zbog toga što je olakšano prikupljanje, razvrstavanje, prijevoz i prerada otpada. Otpad se sastoji od lomljivine, škarta i nusprodukata proizvodnje (zato se i naziva „proizvodni otpad“) i nije rijetkost da se njegova prerada obavlja na mjestu nastanka, odnosno da se ponovno uključuje u proizvodni proces kao sirovina.

Recikliranje tijekom uporabe odnosi se na otpad koji nastaje servisiranjem i održavanjem proizvoda (zamjena dotrajalih dijelova). Najpovoljnije rješenje je ponovna uporaba dotrajalih dijelova, u istu ili različitu namjenu, s ili bez prethodne dorade. Trenutno se još uvijek otpad nastao tijekom uporabe većinom prerađuje kao sekundarna sirovina.

Recikliranje nakon uporabe predstavlja zapravo uklanjanje dotrajalog proizvoda. U ovoj fazi nastaje i najveća količina otpada koji se još naziva „potrošački otpad“. Problemi koji se javljaju proizlaze iz raširenosti proizvoda na tržištu što otežava prikupljanje, te raznovrsnosti tipova i proizvođača istovrsnih proizvoda što uzrokuje neprikladnosti tih proizvoda za recikliranje. Svi navedeni načini recikliranja mogu biti izvedeni procesom preoblikovanja i prerade sirovina i materijala. Određena količina materijala nastala recikliranjem završava na deponiju. Oni bi se eventualno u budućnosti mogli koristiti kao resursi slabe iskoristivosti [1].

### 2.1.2 Postupak recikliranja

Elektronički i električni otpad (kraće EE-otpad) moguće je klasificirati na više načina, no najčešće je to prema mjestu nastanka. Pod mjestom nastanka se podrazumijevaju EE-proizvodi za koje je u polazištima rečeno da su to proizvodi koji u radu koriste električnu struju ili elektromagnetsko polje ili čija je funkcija proizvesti, prenijeti ili mjeriti takvu struju ili polje, a konstruirani su da mogu podnijeti napone do 1000 V [3].

Postoje dva osnovna pristupa recikliranju – recikliranje proizvoda i recikliranje materijala. Kod recikliranja materijala njegov prethodni oblik i funkcija nisu od važnosti jer se dotrajali proizvod prerađuje u sirovinu za ponovno dobivanje materijala. Kod recikliranja proizvoda pridaje se važnost stanju oblikovanih dijelova tj. njihovoj uporabljivosti odnosno očuvanosti. Stoga postoji nekoliko faza kod recikliranja, a to su:

- prikupljanje otpada
- rastavljanje
- razvrstavanje komponenti
- skladištenje
- transport
- prerada

Rastavljanje se može definirati kao sustavna metoda razdvajanja proizvoda u sastavne dijelove, komponente, podsklopove ili druge sklopove. Može biti djelomično ili cjelovito. Svrha rastavljanja nekog složenog proizvoda je razdvajanje na jednostavnije strukturne cjeline (dijelovi, sklopovi) s ciljem kasnije prerade ili odlaganja. Prema načinu izvođenja rastavljanje može biti ručno, automatizirano i poluautomatizirano [4].

Zbog neprikladnosti rastavljanju, odnosno skupog ljudskog rada, razvijeni su brojni postupci usitnjavanja i razvrstavanja otpada prema vrstama materijala. Kod razvrstavanja koriste se razlikovna obilježja kao što su magnetska svojstva, mehanička svojstva (čvrstoća, sposobnost preoblikovanja, ponašanje pri lomu, i dr.), električna vodljivost, boja površine, emisijsko spektralna analiza, itd. Postoji ručno razvrstavanje od kojeg dobijemo visoku čistoću materijala i mehaničko razvrstavanje (propuhivanje, zračni vrtlog, plivajuće-toneći postupak, vodeni vrtlog) kod kojeg je manja čistoća materijala.

Prerada sa svojim utroškom energenata mora biti takva da ne trošimo više energije od vrijednosti dobivenih proizvoda. Prerađu možemo podijeliti na kemijske i toplinske prerade. Neki od kemijskih prerada koji se često koriste su: elektrokemijski ili elektrolitički postupak, polireakcije, fotokemijski i katalitički postupak. Kod toplinske prerade najčešće se koriste: kriotehnika, piroliza, hidroliza, pretaljivanje i spaljivanje u cementarama [1].

### 2.1.3 Vrste materijala u EE-otpadu

Za izradu elektroničkih i električnih proizvoda koriste se različiti materijali kao što su metali i legure (željezo, bakar, aluminij i dr.), polimeri (poliester, poliamid, epoksid, polivinilklorid i dr.) anorganski materijali (staklo, keramika i dr.), zatim drvo, papir i karton te vezani materijali (kompoziti, bimetali). Za neke funkcije različitih komponenata u EE proizvodima, koriste se po okoliš i po čovjeka opasne tvari (azbest, teški metali, halogeni spojevi i dr.). U tablici 2.1 prikazan je prosječni udio pojedinih materijala u EE-otpadu [1].

**Tablica 2.1.** *Prosječni sastav EE-otpada*

| Vrste materijala                | Maseni udio, % |
|---------------------------------|----------------|
| Željezni ljevovi i čelik        | 47,90          |
| Aluminij                        | 4,70           |
| Bakar                           | 7,00           |
| Ostali neželjeni materijali     | 1,00           |
| Plastika s usporivačima gorenja | 5,30           |
| Plastika bez usporivača gorenja | 15,30          |
| Staklo                          | 5,40           |
| Guma                            | 0,90           |
| Drvo                            | 2,60           |
| Keramika i sl.                  | 2,00           |
| Tiskane pločice                 | 3,30           |
| Ostalo                          | 4,60           |
| <b>Ukupno</b>                   | <b>100,00</b>  |

Kod EE-otpada se neki materijali kao (npr. plemeniti metali) obnavljaju već godinama zahvaljujući svojoj vrijednosti. Drugi, kao željezni ljevovi, aluminij, nehrđajući čelik i plastika počeli su se obnavljati (reciklirati) u skorije vrijeme kada su razvijeni odgovarajući postupci i oprema za tu namjenu.

#### **2.1.4 Prednosti recikliranja**

Uloga recikliranja je poglavito ekonomska i ekološka, donosi znatne uštede energije i sirovina. Najznačajnije prednosti recikliranja EE-otpada su sljedeće [1]:

- čuvanje zaliha neobnovljivih izvora sirovina preradom odbačenih materijala, o očuvanju zaliha govori podatak kako se 40 % svjetske proizvodnje bakra i 55 % čelika ostvaruje recikliranjem
- ušteda energije pri dobivanju materijala iz sekundarnih sirovina, uobičajeno se računa da je potrošnja energije kod proizvodnje aluminija iz prirodne rude 75 MWh/t, a 5 MWh/t za recikliranje iz otpadnog aluminija
- zaštita okoliša smanjivanjem količine deponiranog otpada u okolinu

Američka agencija za zaštitu okoliša (EPA) prepoznaje šest najznačajnijih dobiti koje nastaju kada se čelik dobiva iz otpada umjesto prirodne sirovine, a to su [1]:

- 97 % manje rudarskog otpada
- 90 % manja potrošnja primarnih sirovina
- 86 % smanjenje onečišćenja zraka
- 76 % smanjenje onečišćenja vode
- 74 % uštede energije
- 49 % smanjenje utroška vode

## 2.2 Metoda vrednovanja recikličnosti

Budući da je recikliranje sve važnije, pojavila se potreba vrednovanja prikladnosti dotrajalih materijala/proizvoda ponovnoj uporabi. Stoga se uvodi novo obilježje proizvoda pod nazivom recikličnost (engl. *recyclability*).

Recikličnost označava prikladnost dotrajalih proizvoda ili materijala odvajanju iz otpada i vraćanju u uporabu kao funkcionalno ispravnog dijela ili kao sirovine za ponovno dobivanje materijala. Dotrajalost proizvoda je vremensko razdoblje nakon kojega proizvod više ne može zadovoljavajuće obavljati zadaću zbog koje je nabavljen. Zbrinjavanje dotrajalog proizvoda predstavlja niz postupaka kojima se podvrgava dotrajali proizvod. Koriste se postupci u rasponu od ponovne uporabe, održavanja, obnavljanja, recikliranja, te odlaganja [1].

### 2.2.1 Elementarni pokazatelji za ocjenu recikličnosti

Do ocjene recikličnosti dolazi se analizom elemenata tj. dijelova, a zatim obradom tih podataka dobiva se pokazatelj recikličnosti proizvoda tj. cjeline. Ovakav pristup zahtjeva rastavljanje proizvoda. Širi pristup bi obuhvaćao mehaničko usitnjavanje i primjenu raznih postupaka razvrstavanja. Dakle na razini elemenata utvrđuju se takozvani elementarni pokazatelji relevantni za vrednovanje recikličnosti. Do njih se dolazi eksperimentalno (mjeranjem, zapažanjem, procjenom). Oni ukazuju na značajke dijela kao što su masa, vrsta materijala, vrijeme odvajanja, ocjena recikličnosti i dr. U drugoj se fazi izračunavaju složeni pokazatelji temeljem elementarnih. Složeni se pokazatelji odnose na razinu proizvoda, odnosno mogu poslužiti za usporedbu recikličnosti proizvoda (sklopova) međusobno.

Kao relevantni elementarni pokazatelji odabrani su sljedeći atributi na razini pojedinačnih dijelova: naziv elementa, masa elementa, broj komada, vrsta materijala, vrijeme rastavljanja, te recikličnost dijela.

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

Ovaj pokazatelj, bilo kao naziv, oznaka ili kod, ima ulogu identifikatora pojedinačnog dijela ili sklopa. Ovdje se koristi oznaka dijela  $i$  koja poprima vrijednost od 1 do  $n$ , pri čemu je  $n$  krajnji broj elementa u promatranom proizvodu.

2. Masa elementa,  $m_i$

Masa materijala je jedan od važnih pokazatelja koji neizravno upućuje na isplativost, ali i na ostale aspekte recikliranja (logistika, organizacija, udjel mase materijala i dr.). Masa se određuje vaganjem elemenata (pojedinačnih dijelova i nerastavljivih sklopova).

3. Broj komada,  $b_i$

Broj komada promatranog dijela u proizvodu. Podatak koji ukazuje na ponavljanje dijelova, a koristi se i kod računanja ukupne mase.

4. Vrsta materijala,  $(vm)_i$

Istodobno s vaganjem određuje se i vrsta materijala od koje je element načinjen. U praksi recikliranja uobičajeno je materijale razvrstavati u skladu s raspoloživim postupcima prerade. Najčešće se dijelovi razvrstavaju na sljedeće skupine (klase, vrste) materijala:

- željezne legure (željezni ljevovi, čelici)
- aluminij i legure
- bakar i legure
- ostale neželjene legure
- polimeri, razvrstani
- polimeri, pomiješani
- keramika
- staklo
- složeni materijali
- ostali materijali

## 5. Vrijeme rastavljanja, $v_i$ , $v_{kl}$

Postoje dva temeljna pristupa recikliranju materijala. To su recikliranje bez rastavljanja i recikliranje s rastavljanjem. Recikliranje bez rastavljanja zasniva se na usitnjavanju dotrajalog proizvoda i odvajanju pojedinih vrsta materijala, te kao takvo ima manju kvalitetu reciklata. Recikliranje s rastavljanjem omogućuje bolju kvalitetu reciklata, ali je skuplje. Većinom se obavlja ručno iako se pojavljuju automatizirani, odnosno robotizirani postupci. Vrijeme rastavljanja predstavlja mjerenjem dobiven podatak o trajanju operacije rastavljanja. Operacije se mogu podijeliti na dvije osnovne skupine: rastavljanje spojeva ( $v_{kl}$ ) gdje je k – oznaka spoja, l – oznaka veze, te odvajanje i odlaganje dijelova ( $v_i$ ). Vrijeme rastavljanja je važan pokazatelj koji upućuje na isplativost recikliranja.

## 6. Recikličnost dijela, $r_i$

Varijabla kojom se procjenjuje recikličnost za pojedine dijelove, odnosno za teško rastavljive sklopove. Ocjene su brojčane, a veći broj označava veću prikladnost recikliranju. Opasnom otpadu pridružena je ocjena 0, dok je najprikladnijim (recikličnim) dijelovima pridana maksimalna ocjena 5. Od ocjenjivača se očekuje poznavanje raspoložive tehnologije recikliranja u svijetu te vlastite preradbene mogućnosti. Koriste se tablice 2.2 i 2.3 u kojima je brojem označena prikladnost recikliranju pojedinih vrsta materijala [1].

**Tablica 2.2** Mjerila recikličnosti prema postupcima i tehnologiji

| OCJENA | OPIS MJERILA                                                                                                 |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0      | dio ili sklop koji sadrži opasne tvari, zahtjeva posebno postupanje                                          |
| 1      | materijal s nepoznatom tehnologijom reciklaže                                                                |
| 2      | organski materijal, može se koristiti kao izvor energije, ali se ne može reciklirati                         |
| 3      | materijal je tehnološki moguće reciklirati, zahtjeva dodatnu obradu i razvoj postojećih procesa i materijala |
| 4      | materijal se tehnološki može reciklirati, ali oprema nije dostupna                                           |
| 5      | materijal je recikličan, postupak recikliranja poznat i uspješno se primjenjuje                              |

**Tablica 2.3** Mjerila recikličnosti prema vrsti materijala

| OCJENA | OPIS MJERILA                                                                                                                                           |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0      | tiskane pločice, katodne cijevi, kodenzatori(PCB), baterije, negorivi polimeri, LCD, živin prekidač, dijelovi koji sadrže azbestna vlakna, živa, selen |
| 1      | duroplasti, viskeri, nerazvrstani usitnjeni otpad, kompoziti                                                                                           |
| 2      | polimeri nepoznate vrste, materijali na bazi celuloze                                                                                                  |
| 3      | željezo-bakar pomiješani, elektromotori, mješavina polimera                                                                                            |
| 4      | kabeli i izolirani vodiči, željezo + keramika, metal + plastika                                                                                        |
| 5      | željezo, bakar, aluminij i slitine, polimeri poznate vrste                                                                                             |

### 2.2.2 Složeni pokazatelji za ocjenu recikličnosti

Ranije odabrani elementarni pokazatelji su bili podloga za stvaranje složenih pokazatelja recikličnosti proizvoda ili skupine dijelova (sklopova). Ti pokazatelji su: broj elemenata, ukupna masa proizvoda, broj vrsta materijala/komponenti po proizvodu, ukupno vrijeme rastavljanja proizvoda, te recikličnost proizvoda.

#### 1. Broj elemenata, $B$

Pokazatelj koji predstavlja ukupan broj elemenata nekog proizvoda. Određuje se tijekom mjerenja mase. S gledišta složenosti rastavljanja (trajanje, troškovi) poželjno je da broj elemenata  $B$  bude što manji.

#### 2. Ukupna masa proizvoda, $M$

Masa predstavlja sumu masa pojedinačnih elemenata, a može se dobiti vaganjem sklopa ili zbrajanjem masa elemenata  $m_i$ .

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

Broj vrsta materijala, odnosno komponenti mjera je raznovrsnosti materijala u odbačenom proizvodu. S gledišta prikladnosti recikliranju materijala teži se što manjem broju različitih materijala (niži troškovi, veća čistoća).

4. Ukupno vrijeme rastavljanja,  $VR$

Ukupno vrijeme rastavljanja određuje se zbrajanjem operacija vremena rastavljanja koje su:  $v_i$  – vrijeme odvajanja i odlaganja i-tog dijela, te  $v_{kl}$  – vrijeme rastavljanja l-te veze od k-tog sklopa.

5. Recikličnost proizvoda,  $R$

Recikličnost proizvoda je složeni pokazatelj koji se računa prema formuli (2-1).

$$R = \frac{\sum b_i \times m_i \times r_i}{M \times r_{max}} \quad (2-1)$$

gdje je:

- $R$  – recikličnost proizvoda
- $b_i$  – broj ponavljanja i-tog dijela u proizvodu
- $m_i$  – masa i-tog dijela u proizvodu
- $r_i$  – ocijena recikličnosti i-tog dijela u proizvodu
- $r_{max}$  – idealna (maksimalna) ocijena recikličnosti
- $M$  – ukupna masa proizvoda

Recikličnost proizvoda je ključni pokazatelj mogućnosti materijalne iskoristivosti dotrajalog proizvoda. Izračunava se kao omjer sume recikličnosti dijelova ponderiranih masom u odnosu na maksimalnu recikličnost proizvoda. Radi se o bezdimenzijskom pokazatelju, čiji se iznos kreće od 0 do 1. Pokazatelj se može koristiti i za pojedine sklopove, odnosno module. Nedostatak je što istu vrijednost može dati umnožak male mase i visoke recikličnosti kao i velike mase i niske recikličnosti. U tome smislu zahtijeva oprez u primjeni i povezivanje s drugim pokazateljima (osobito ukupne mase,  $M$ ) [1].

### 2.2.3 Ocjena metode vrednovanja recikličnosti

Kao mogući nedostaci ovakvog načina vrednovanja recikličnosti može se smatrati subjektivnost kod ocjenjivanja recikličnosti pojedinih dijelova. Pretpostavlja se kako će metodu koristiti stručna osoba koja poznaje tehnologije recikliranja. Brojčani iznos recikličnosti ovisit će i o stupnju tehnološkog razvoja neke sredine. Tako će npr. nerazvijene sredine za isti proizvod iskazati nisku recikličnost, dok će razvijeni u tome prepoznati iskoristiv otpad.

Promatrajući brojčane iznose recikličnosti imamo tri sljedeće situacije:

- povoljnim ishodom se smatraju vrijednosti od 0,75 do 1,00. Ako je recikličnost  $R$  gledanog proizvoda unutar tih vrijednosti smatra se isplativim za recikliranje.
- vrijednosti od 0,50 do 0,74 upućuju na potrebu rekonstrukcije proizvoda ili selektivnog rastavljanja (odvajanja slaborecikličnih komponenti).
- vrijednosti ispod 0,50 upućuju na *down-cycling* postupke (niža kvaliteta reciklata) ili zbrinjavanje.

U tumačenju brojčanih vrijednosti recikličnosti treba biti oprezan jer model ne uzima u obzir ostale važne aspekte prerade (troškove, vrijeme rastavljanja, opterećenje na okoliš i dr.). U tome smislu dobivene vrijednosti recikličnosti treba prihvaćati kao svojevrsni potencijal preradivosti proizvoda. Model analize recikličnosti proizvoda jednostavan je u primjeni i pruža temeljne podatke za vrednovanje recikličnosti proizvoda ili sklopova. Ograničenje je što dobivene vrijednosti recikličnosti ovise o stupnju tehnološkog razvoja neke sredine, odnosno nisu usporedive za različite zemlje, točnije različitu gospodarsku razvijenost [1].

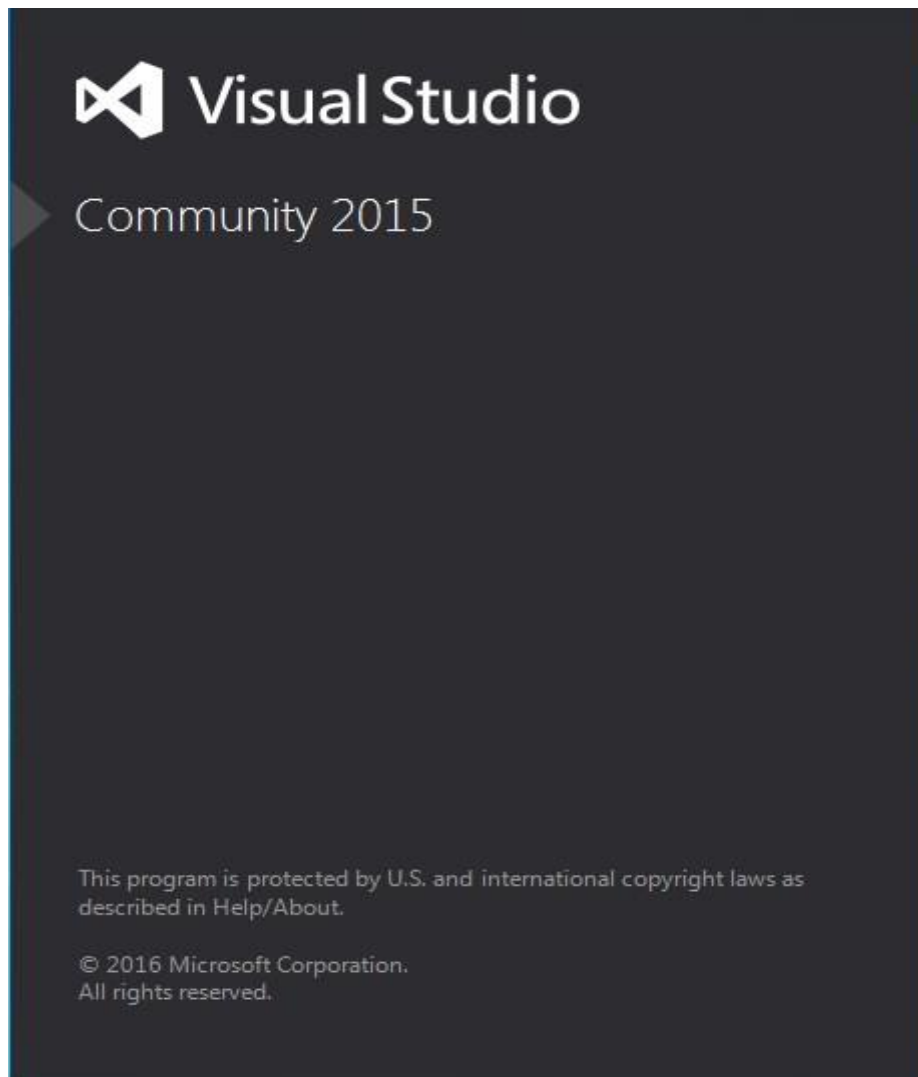
### 3. IZRADA RAČUNALNE APLIKACIJE

Zadatak ovog završnog rada jest izrada računalne aplikacije s kojom će se lakše moći određivati recikličnost proizvoda. Aplikacija je za Windows operative sustave i kompatibilna je s trenutnim .NET *frameworkom* (softverskim okvirom). Također aplikacija je trebala biti lako shvatljiva korisnicima koji se ne bave određivanjem recikličnosti proizvoda, i štoviše jednostavna za koristiti. Uzimajući u obzir gore sve navedeno najbolji odabir je Microsoftov Visual Studio 2015 kao program kojim će se izraditi i oblikovati aplikacija, a C# (izgovor: si šarp) kao programski jezik kojim će aplikacija biti kodirana.

#### 3.1 Visual Studio 2015

Visual Studio je integrirano razvojno okruženje (engl. IDE – *Integrated Development Environment*) kojega je napravio Microsoft. Koristi se za razvoj računalnih programa, web stranica, aplikacija i usluga. Koristi Microsoftove platforme za razvoj poput aplikativnih programskih sučelja (engl. API – *Application Programming Interface*) za Windows, Windows Forms, Windows Presentation Foundation, Windows Store i Microsoft Silverlight. Visual Studio sadrži uređivač izvornog koda koji podržava *IntelliSense* (komponenta koja predlaže ostatak koda) kao i refaktoriranje koda. Integrirani *debugger* (program za pronalaženje pogrešaka) radi na nivou izvornog i strojnog koda. Program također sadrži alate poput dizajnera oblika koji se koristi za izradu aplikacija s grafičkim korisničkim sučeljem, web dizajnera, dizajnera klasa, te dizajnera shema baza podataka. Visual Studio korišten za ovaj rad prikazan je na slici 3.1.

Visual Studio podržava različite programske jezike i dozvoljava uredniku koda i *debuggeru* da podržava skoro bilo koji programski jezik. Ugrađeni jezici su: C, C++ i C++/CLI (Visual C++), VB.NET (Visual Basic .NET), C# (Visual C#) i F#. Podrška za ostale programske jezike poput M, Python, i Ruby-a kao i ostalih je dostupan instalacijom jezičnih servisa koji se mogu zasebno instalirati.



**Slika 3.1** *Visual Studio Community 2015*

Microsoft pruža „Express“ izdanja programa Visual Studio besplatno uz svoja komercijalna izdanja programa Visual Studio, kao i određena prethodna izdanja studentima preko Microsoftovog DreamSpark programa. Za ovaj završni radi korišteno je „Community“ izdanje Visual Studia koje je dostupno besplatno za studente.

## 3.2 Programski jezik C#

C# je programski jezik koji usvaja strogo tipkanje koda, imperativne, deklarativne, funkcionalne, generične, objektno-orijentirane i komponentno-orijentirane programske discipline. Razvio ga je Microsoft unutar .NET inicijative, a kasnije su ga za standard odobrili Ecma (ECMA-334) i ISO (ISO/IEC 23270:2006). Kao programski jezik on je jednostavan, moderan, objektno-orijentirani jezik opće namjene. Njegov razvojni tim predvodi Anders Hejlsberg, a najnovija verzija je C# 6.0, koja je izdana 2015 godine. Logo Visual C# može se vidjeti na slici 3.2.



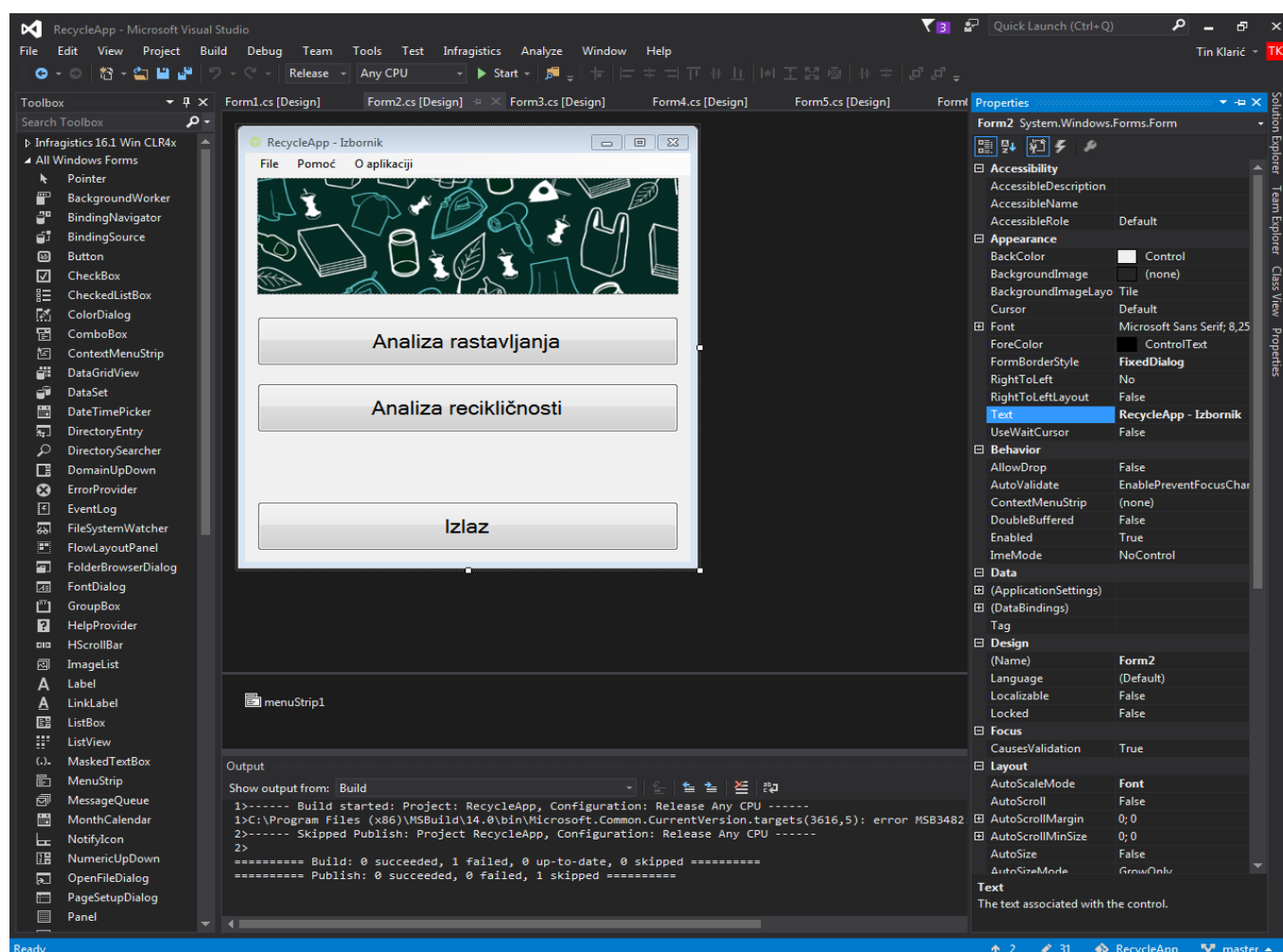
**Slika 3.2** Logo Microsoftovog Visual C# programskog jezika

C# je nastao na temelju objektnih jezika Java, C++ i Visual Basic. Vrlo je sličan Javi i C++ jeziku (sintaksa i semantika je dobrim dijelom preuzeta iz Jave, koja je kao i C# potpuno objektno orijentirani jezik). Ali C# za razliku od Jave nije neovisan o platformi, tj. operativnom sustavu, već je kreiran za izradu stolnih (desktop) i Internet aplikacija u Microsoft .NET okruženju.

C# ima velike mogućnosti u definiranju klasa (tipova objekata), novih metoda i svojstava, te korištenju enkapsulacije, nasljeđivanja i polimorfizma kao što je to omogućeno u C++ i Javi. Također podržava XML stil unutar dokumenata, sučelja, svojstva, događaja te podržava rad s pokazivačima i "garbage collection". C# koristi postupak zvan „garbage collection“ za oslobađanje memorije koju zauzimaju objekti koji više nisu dostupni programu. Programer je oslobođen brige o tome koji mu objekti više ne trebaju (*garbage*), jer to umjesto njega radi sustav.

### 3.3 Proces izrade aplikacije

Aplikacija je dobila ime RecycleApp (izgovor: resajkl ap), kao spoj engleskih riječi „recycle“ i „application“. Kodirana je u C# programskom jeziku a oblikovana putem Windows Forms-a. Sastoji se od izbornika, analize rastavljanja, analize recikličnosti i prozora za prikaz recikličnosti proizvoda. Glavna funkcija aplikacije je analiza recikličnosti proizvoda te prikaz jasnog rezultata, uz tu funkciju također postoji i analiza rastavljanja proizvoda. Tablice iz analize rastavljanja i analize recikličnosti također imaju i mogućnost izvoza u Microsoft Excel, s odabirom između dva formata zapisa (.xls Excel 2003 i .xlsx Excel 2007). Uvid u proces izrade aplikacije je prikazan na slici 3.3. i slici 3.4.



Slika 3.3 Prikaz Izbornika RecycleApp-a u Visual Studiu 2015

```

27 private void button1_Click_1(object sender, EventArgs e)
28 {
29     saveFileDialog1.InitialDirectory = "C:";
30     saveFileDialog1.Title = "Spremi kao Excel datoteku";
31     saveFileDialog1.FileName = "";
32     saveFileDialog1.Filter = "ExcelFile(2003).xls|*.xls|ExcelFile(2007).xlsx|*.xlsx";
33
34     if (saveFileDialog1.ShowDialog() != DialogResult.Cancel)
35     {
36         Microsoft.Office.Interop.Excel.Application ExcelApp = new Microsoft.Office.Interop.Excel.Application();
37         ExcelApp.Application.Workbooks.Add(Type.Missing);
38
39         ExcelApp.Columns.ColumnWidth = 25;
40
41         for (int i = 1; i < dataGridView1.Columns.Count + 1; i++)
42         {
43             ExcelApp.Cells[1, i] = dataGridView1.Columns[i - 1].HeaderText;
44         }
45
46         for (int i = 0; i < dataGridView1.Rows.Count - 1; i++)
47         {
48             for (int j = 0; j < dataGridView1.Columns.Count; j++)
49             {
50                 if (dataGridView1.Rows[i].Cells[j].Value != null)
51                 {
52                     ExcelApp.Cells[i + 2, j + 1] = dataGridView1.Rows[i].Cells[j].Value.ToString();
53                 }
54                 else
55                 {
56                     ExcelApp.Cells[i + 2, j + 1] = "";
57                 }
58             }
59         }
60
61         ExcelApp.ActiveWorkbook.SaveCopyAs(saveFileDialog1.FileName.ToString());
62         ExcelApp.ActiveWorkbook.Saved = true;
63         ExcelApp.Visible = true;
64
65     }
66 }
67
68

```

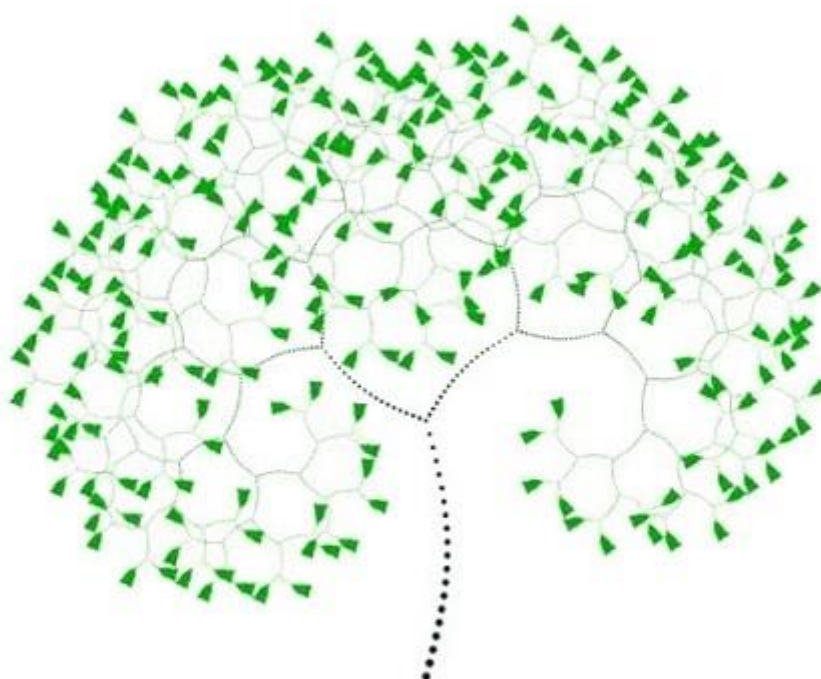
**Slika 3.4** Prikaz dijela C# izvornog koda

Sama izrada aplikacije trajala je oko mjesec i pol dana. Najveće probleme je zadavao kod za izvoz tablica analize rastavljanja i analize recikličnosti u Microsoft Excel. Uz znanje stečeno iz predmeta Objektno orijentirano programiranje, trebalo je dodatno proučiti novi programski jezik i programsko okruženje. U učenju novog programskog jezika najviše je pomogao Googleov YouTube, MSDN forumi, te internet stranica Stack Overflow.

## 4. APLIKACIJA RECYCLEAPP

RecycleApp se sastoji od tri glavna prozora, a to su izbornik, analiza rastavljanja i analiza recikličnosti. Na svakom prozoru postoji gumb za pomoć koji daje savjete i instrukcije kako treba određeni dio tablice popuniti. Uz funkciju analize i automatskih ažuriranja ćelija u tablici također postoji i opcija za izvoz tablica u Microsoft Excel dokument za daljnje uređivanje i spremanje podataka.

Kada se klikne na kraticu RecycleApp na zaslonu monitora, aplikacija se počinje učitavati te će se to i vidjeti prema slici 4.1. Animacija za vrijeme učitavanja aplikacije prikazuje drvo koje raste i razvija granje i lišće, inspirirano krajnjim rezultatom recikliranja koje je očuvanje okoliša. Također u donjem desnom kutu vidi se i trenutna verzija aplikacije.

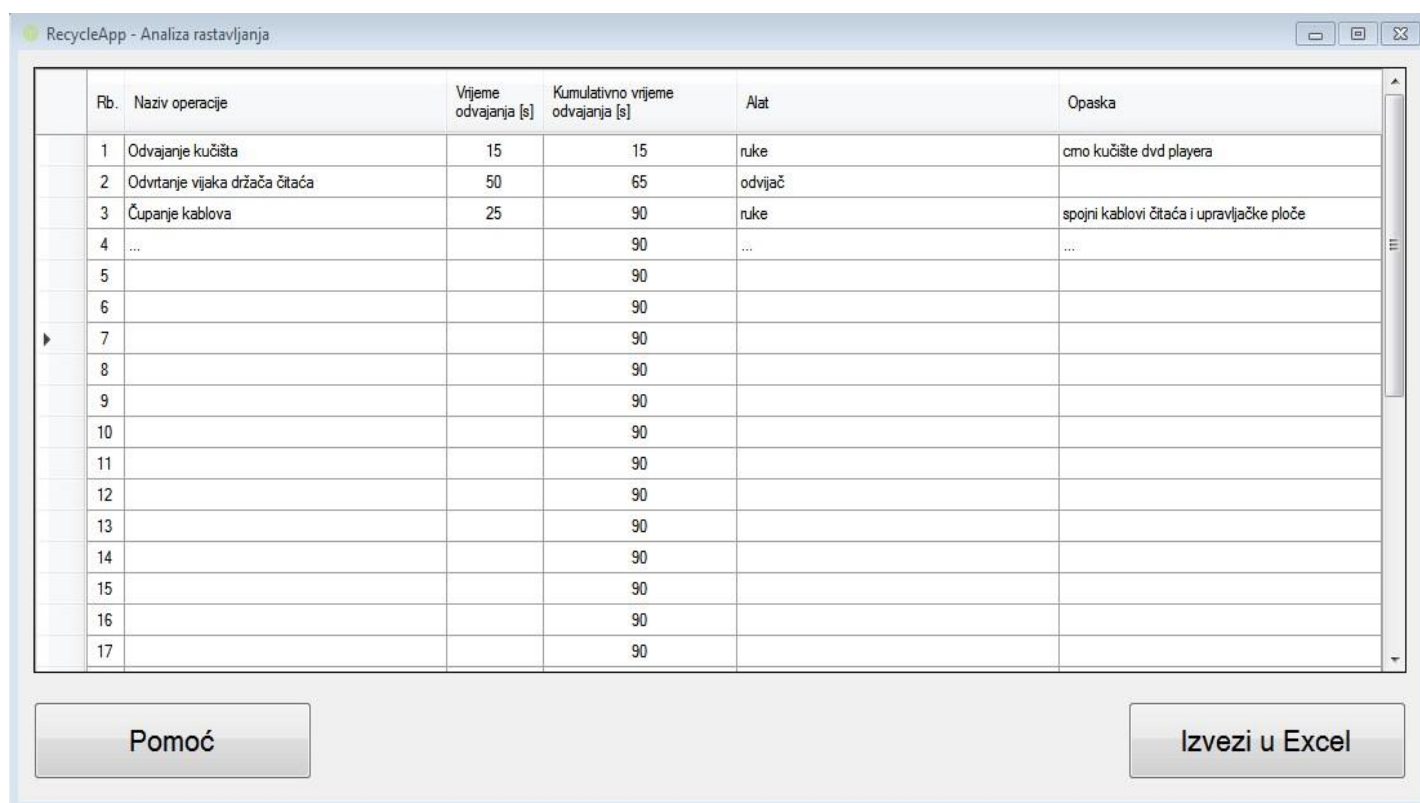


**Slika 4.1** Prikaz učitavanja aplikacije RecycleApp



## 4.2 Analiza rastavljanja

Kod analize rastavljanja glavna značajka je tablica, koja je prikazana na slici 4.3., te u koju upisujemo redosljedno: naziv operacije, vrijeme odvajanja, alat, te opasku za svaki pojedini element proizvoda. Klikom na „Pomoć“ prikazuje se poruka u kojoj je ukratko objašnjen postupak popunjavanja tablice i funkcionalnost. Ova analiza ima mogućnost izvoza u Microsoft Excel datoteku. Klikom na „Izvezi u Excel“ otvara se prozor u kojem se odabire mjesto gdje ta datoteka može biti spremljena. Također se može izabrati između dva formata zapisa: Excel 2003 (.xls) ili od Excel 2007 (.xlsx) pa na dalje.



| Rb. | Naziv operacije                | Vrijeme odvajanja [s] | Kumulativno vrijeme odvajanja [s] | Alat    | Opaska                                    |
|-----|--------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|---------|-------------------------------------------|
| 1   | Odvajanje kućišta              | 15                    | 15                                | ruke    | ono kućište dvd playera                   |
| 2   | Odvrtanje vijaka držača čitača | 50                    | 65                                | odvijač |                                           |
| 3   | Čupanje kablova                | 25                    | 90                                | ruke    | spojni kablovi čitača i upravljačke ploče |
| 4   | ...                            |                       | 90                                | ...     | ...                                       |
| 5   |                                |                       | 90                                |         |                                           |
| 6   |                                |                       | 90                                |         |                                           |
| 7   |                                |                       | 90                                |         |                                           |
| 8   |                                |                       | 90                                |         |                                           |
| 9   |                                |                       | 90                                |         |                                           |
| 10  |                                |                       | 90                                |         |                                           |
| 11  |                                |                       | 90                                |         |                                           |
| 12  |                                |                       | 90                                |         |                                           |
| 13  |                                |                       | 90                                |         |                                           |
| 14  |                                |                       | 90                                |         |                                           |
| 15  |                                |                       | 90                                |         |                                           |
| 16  |                                |                       | 90                                |         |                                           |
| 17  |                                |                       | 90                                |         |                                           |

Pomoć

Izvezi u Excel

**Slika 4.3** Prikaz analize rastavljanja RecycleApp-a

Ovom analizom rastavljanja ubrzat će se proces upisivanja podataka rastavljanja električnih i elektroničkih proizvoda. Izračun kumulativnog vremena rastavljanja je automatiziran, tako da kada se unese vrijeme odvajanja automatski se dodaje na stupac ukupnog tj. kumulativnog vremena odvajanja.

### 4.3 Analiza recikličnosti

Kao i kod analize rastavljanja glavni dio je tablica koja zauzima veći dio ovog prozora te je prikazana na slici 4.4. U tablicu se unosi naziv elementa, bira se vrsta elementa i vrsta materijala pomoću padajućeg izbornika, unosi se masa elementa, koliko komada tog elementa ima u samome proizvodu te na kraju se bira stupanj recikličnosti ovisno o vrsti elementa i dostupnoj tehnološkoj razini sredine. Da bi korisnici znali koji se stupanj recikličnosti pridodaje za pojedini element, dodana su mjerila recikličnosti proizvoda kao pomoć pri samoj analizi. Tim mjerilima se pristupa klikom na „Mjerila recikličnosti proizvoda“. Isto tako kao i na analizi rastavljanja imamo „Pomoć“ koja prikazuje poruku gdje se dobiju informacije o popunjavanju tablice. Klikom na „Izvezi u Excel“ tablica analize recikličnosti se sprema kao Microsoftova Excel datoteka na odabrano mjesto. Klikom na „Izračunaj recikličnost proizvoda“ prikazuje se prozor „Recikličnost proizvoda“ o kojem je nešto više rečeno u sljedećem potpoglavlju.

RecycleApp - Analiza recikličnosti

Pomoć Mjerila recikličnosti proizvoda

| Rb. | Naziv elementa            | Vrsta elementa | Vrsta materijala | Masa elementa [g] | Komada po proizvodu | Stupanj recikličnosti | Masa elemenata [g] | Recikličnost elementa |
|-----|---------------------------|----------------|------------------|-------------------|---------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|
| 1   | Kućište DVD playera       | SE             | Aluminij         | 250               | 1                   | 5                     | 250                | 1250                  |
| 2   | Upravljačka ploča playera | SK             | Opasni Otpad     | 138               | 1                   | 0                     | 138                | 0                     |
| 3   | Čitač                     | SK             | Opasni Otpad     | 150               | 1                   | 0                     | 150                | 0                     |
| 4   | Metalna konstrukcija      | SE             | Čelik            | 890               | 1                   | 5                     | 890                | 4.450                 |
| 5   | Šrafovi                   | PE             | Čelik            | 3                 | 10                  | 5                     | 30                 | 150                   |
| 6   | Guma                      | PE             | Guma             | 5                 | 4                   | 4                     | 20                 | 80                    |
| 7   |                           |                |                  |                   |                     |                       | 0                  | 0                     |
| 8   |                           |                |                  |                   |                     |                       | 0                  | 0                     |
| 9   |                           |                |                  |                   |                     |                       | 0                  | 0                     |
| 10  |                           |                |                  |                   |                     |                       | 0                  | 0                     |
| 11  |                           |                |                  |                   |                     |                       | 0                  | 0                     |
| 12  |                           |                |                  |                   |                     |                       | 0                  | 0                     |
| 13  |                           |                |                  |                   |                     |                       | 0                  | 0                     |
| 14  |                           |                |                  |                   |                     |                       | 0                  | 0                     |
| 15  |                           |                |                  |                   |                     |                       | 0                  | 0                     |
| 16  |                           |                |                  |                   |                     |                       | 0                  | 0                     |

Suma recikličnost elemenata: 5930

Masa proizvoda: 1478

Recikličnost proizvoda: 0,8

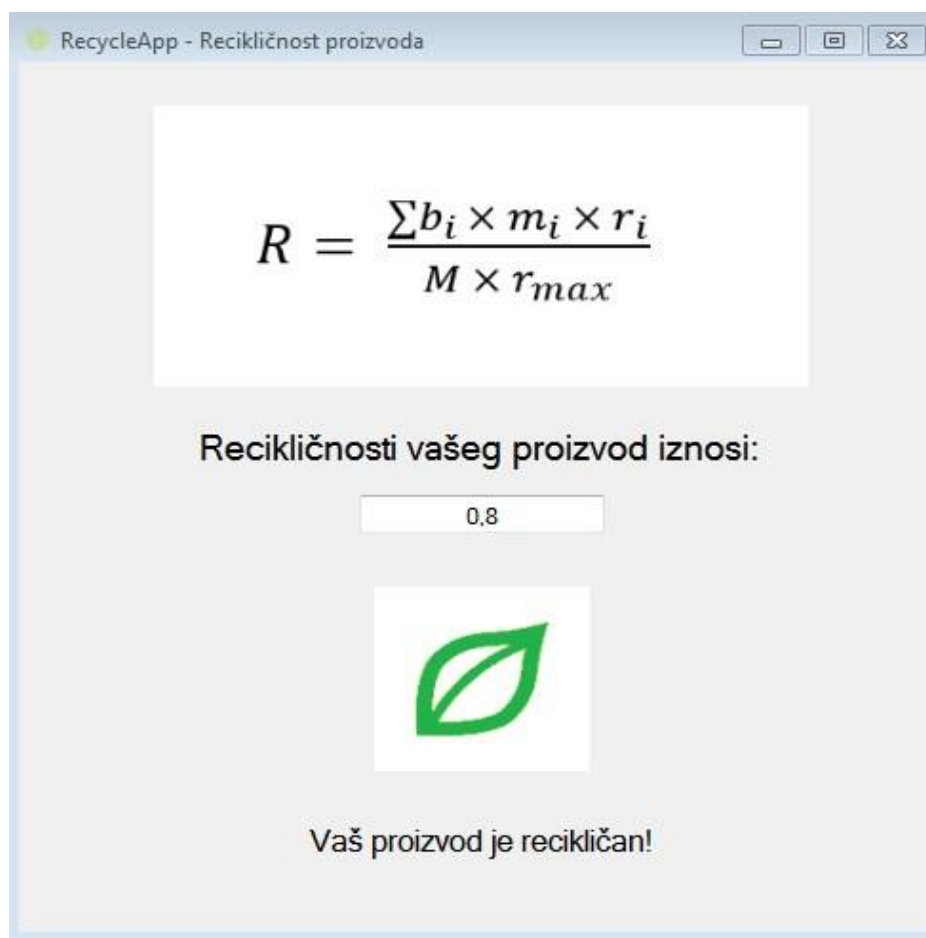
Izvezi u Excel

Izračunaj recikličnost proizvoda

Slika 4.4 Prikaz analize recikličnosti RecycleApp-a

## 4.4 Recikličnost proizvoda

Klikom na „Izračunaj recikličnost proizvoda“ u prethodnoj analizi prikazuje se prozor „Recikličnost proizvoda“. U ovome prozoru prikazuje se krajnji rezultat analize recikličnosti gledanoga proizvoda. Rezultat je prikazan na tekstualni i grafički način kao što se može vidjeti prema slici 4.5.



**Slika 4.5** Prikaz rezultata recikličnosti proizvoda

U ovome slučaju proizvod je dobio ocjenu 0,8 što znači da je proizvod recikličan, te da se ne mora vršiti daljnja obrada. Osim slike zelenoga lista koji se prikazuje ako je recikličnost proizvoda  $R$  u granicama od 0,75 pa do 1,00. Slika narančaste žarulje prikazat će se ako recikličnost proizvoda  $R$  spada u granice od 0,50 pa do 0,74. Također će tekst ispod sugerirati na rekonstrukciju proizvoda ili selektivno rastavljanje. U slučaju da je recikličnost proizvoda  $R$  manja od 0,50 prikazat će se slika crvene ruke, a tekst ispod će sugerirati na *down-cycling* preradu.

## 5. ZAKLJUČAK

Recikličnost je bitno svojstvo svakog električnog i elektroničkog proizvoda, bez tog svojstva recikliranje proizvoda bilo bi neefikasno i ponovna iskoristivost materijala neznatna. Recikliranjem dobivamo mnogo koristi iz odbačenih proizvoda, a to su: smanjenje potrošnje materijala, smanjenje potrošnje energije, smanjenje emisija i smanjenje otpada.

Cilj ovoga rada bio je izrada računalne podrške metodi vrednovanja recikličnosti proizvoda. Gledajući dostupnost različitih aplikacija kojima je glavna funkcija olakšavanje recikliranja (kao npr. Recikliraj – mobilna aplikacija koja pomaže pri razvrstavanju otpada, 3R – mobilna aplikacija koja prikazuje mjesta za odlaganje otpada, i dr.) ne postoji aplikacija za određivanje recikličnosti EE proizvoda, te je iz tog razloga došla ideja za aplikaciju RecycleApp. Način izvedbe tog zadatka jest preko Microsoftovog Visual Studia i preko C# programskog jezika. Pomoću RecycleApp-a proizvođači će moći jednostavno i brzo saznati hoće li njihov proizvod zadovoljavati uvjete za recikliranje i prije nego li krene u masovnu proizvodnju. Uvoznici će znati je li proizvod koji su kupili od stranog proizvođača napravljen prema normama koje propisuje Europska komisija za električni i elektronički otpad. Ova aplikacija studentima će olakšati laboratorijske vježbe ili seminare iz Recikliranja električnih i elektroničkih proizvoda.

RecycleApp kao i svaka druga aplikacija ima mjesta za poboljšanje, prije svega to se odnosi na grafički dizajn. Dolaskom novije inačice programa Microsoft Visual Studio te mogućnosti se dodatno povećavaju. S druge strane ova aplikacija može poslužiti kao temelj za izradu mobilne aplikacije, iz tog razloga je priložen i izvorni kod u prilog ovog rada. Ovim kritičkim osvrtom se nastoje dati smjernice k poboljšanju i uređenju ove aplikacije.

## LITERATURA

1. M. Klajin, M. Opalić, A. Pintarić : „Recikliranje električnih i elektroničkih proizvoda“ Slavonski Brod 2006.
2. Babbitt, C. W., R. Kahhat, et al. (2009). "Evolution of Product Lifespan and Implications for Environmental Assessment and Management: A Case Study of Personal Computers in Higher Education.", Environmental Science & Technology 43(13): 5106-5112.
3. Bhamra. T : Planing and optimization to facilitate disassembly in a recycling oriented manufacturing system, 32nd International MATADOR Conference, Manchester, 1996.
4. Schwarz. N : Valuable Scrap, Austria Innovativ, 1995., 2, 26-27
5. Microsoftov forum, Visual Studio (svibanj 2016)  
<https://msdn.microsoft.com/en-us/library/dn762121.aspx>
6. Stack Overflow, internet stranica (svibanj 2016)  
<http://stackoverflow.com/>

## **SAŽETAK**

Recikliranje je jako bitno u vremenu kada masovna proizvodnja električnih i elektroničkih proizvoda raste iz dana u dan. Važno svojstvo svakog proizvoda jest recikličnost, te pri samoj proizvodnji i konstruiranju je treba kontrolirati.

Zadatak ovoga rada je napraviti računalnu podršku za metodu vrednovanja recikličnosti proizvoda. Zadatak je izveden pomoću Microsoftovog Visual Studia i programskog jezika C#. Krajnji rezultat tog zadatka je aplikacija RecycleApp. RecycleApp se sastoji od tri glavna prozora, a to su: izbornik, analiza rastavljanja te analiza recikličnosti. Analiza recikličnosti je glavna funkcija aplikacije, gdje se popunjava tablica i uneseni podaci se na kraju putem formule sjedinjuju u recikličnost proizvoda. Obje analize imaju mogućnost izvoza u Microsoft Excel datoteku za spremanje gotove analize. Aplikacija će pomoći proizvođačima, uvoznicima i studentima da lakše dođu do tražene recikličnosti električnog ili elektroničkog proizvoda.

## **COMPUTER SUPPORT FOR METHOD OF EVALUATING PRODUCT RECYCLABILITY**

### **ABSTRACT**

Recycling is very important in times when mass production of electric and electronic products grows day by day. Most important property of every product is recyclability, and it has to be monitored in its production and construction process.

The task of this work is to create a computer software for determining recyclability of products. Task was done with the help of programs like Microsoft Visual Studio and it was coded in C# programming language. The end result of all that was RecycleApp. RecycleApp consists of three main windows: the menu, disassemble analysis and recyclability analysis. Recyclability analysis is the main feature of the application, where you fill in a table of elementary data and then that data is computed into product recyclability as a result. Both analysis have a feature to export its filled tables into Microsoft Excel file. This application will help the producers, importers and students to get product recyclability of their electric or electronic product.

## ŽIVOTOPIS

Tin Klarić je rođen 19. siječnja 1993. godine u Osijeku. Živi u mjestu Josipovac kraj Osijeka u Hrvatskoj. U Višnjevcu je pohađao prva četiri razreda osnovne škole, dok je u Josipovcu nastavio i završio osnovnoškolsko obrazovanje. Nakon završetka osnovne škole 2007. godine upisuje se u Elektrotehničku i prometnu školu Osijek, smjer tehničar za mehatroniku. Završava srednju školu s odličnim uspjehom 2011. godine te se upisuje na Elektrotehnički fakultet u Osijeku, na stručni studij smjer informatika.

Tin Klarić

---

## **PRILOZI**

- CD sa aplikacijom RecycleApp i elektronička kopija završnog rada Računalna podrška metodi vrednovanja recikličnosti proizvoda