

# ANALIZA ŽIVOTNOG CIKLUSA ELEKTRIČNOG TRIMERA

---

Pančić, Petra

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

*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:200:435778>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-28**

*Repository / Repozitorij:*

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



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

**Sveučilišni studij**

**ANALIZA ŽIVOTNOG CIKLUSA  
ELEKTRIČNOG TRIMERA**

**Završni rad**

**Petra Pančić**

**Osijek, 2022.**

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD.....</b>	<b>1</b>
1.1. Zadatak završnog rada .....	2
<b>2. METODA CJELOVITOG BILANSIRANJA (engl. <i>LIFE CYCLE ASSESSMENT</i>, LCA).....</b>	<b>3</b>
2.1. Pregled razvoja LCA kroz povijest .....	5
2.2. Pregled faza u provođenju LCA metode.....	6
2.2.1. Definicija cilja i opsega (engl. <i>Goal and Scope</i> ).....	7
2.2.2. Prikupljanje podataka i njihova analiza (LCI, engl. <i>Life Cycle Inventory</i> ) .....	7
2.2.3. Određivanje utjecaja na okoliš (LCIA, engl. <i>Life Cycle Impact Assessment</i> ) .....	8
2.2.4. Interpretacija dobivenih rezultata (engl. <i>Interpretation</i> ) .....	9
<b>3. EKO – INDIKATORI KAO POKAZATELJI REZULTATA LCA ANALIZE ...</b>	<b>11</b>
3.1. Općenito o metodi <i>Eco-Indicator 95</i> .....	12
3.2. Općenito o metodi <i>Eco-Indicator 99</i> .....	13
3.2.1. Područje narušavanja ljudskog zdravlja (engl. <i>Damages to Human Health</i> ).....	14
3.2.2. Područje narušavanja ekosustava (engl. <i>Damages to Ecosystem</i> ).....	15
3.2.3. Područje iskorištavanja resursa (engl. <i>Resource extraction</i> ).....	15
3.3. Pregled standardnih eko-indikatora .....	15
3.4. Metodologija korištena za izračun eko-indikatora .....	16
<b>4. PREGLED PROGRAMSKOG ALATA SIMAPRO.....</b>	<b>18</b>
4.1. Licenca <i>SimaPro For Business</i> i uključeni paketi .....	18
4.2. Licenca <i>SimaPro For Education</i> i uključeni paketi.....	19
<b>5. ANALIZA ŽIVOTNOG CIKLUSA NA PRIMJERU ELEKTRIČNOG TRIMERA MEROX MX-CL-18 .....</b>	<b>21</b>
5.1. Primjena programskog alata <i>SimaPro</i> na primjeru električnog trimera <i>Merox MX- CL-18</i> .....	29
5.1.1. Odabir relevantnih baza podataka u sučelju <i>SimaPro</i> (engl. <i>Goal and Scope</i> ) .....	30
5.1.2. Unos podataka u sučelje <i>SimaPro</i> (engl. <i>Inventory</i> ) .....	30
5.1.3. Pokretanje izračuna za određivanje utjecaja na okoliš (engl. <i>Impact Assessment</i> ) .....	32
5.1.4. Interpretacija dobivenog izračuna (engl. <i>Interpretation</i> ) .....	33

<b>6. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>40</b>
<b>LITERATURA.....</b>	<b>42</b>
<b>SAŽETAK .....</b>	<b>44</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>44</b>

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA **OSIJEK****Obrazac Z1P - Obrazac za ocjenu završnog rada na preddiplomskom sveučilišnom studiju**

Osijek, 16.09.2022.

Odboru za završne i diplomske ispite

**Prijedlog ocjene završnog rada na  
preddiplomskom sveučilišnom studiju**

<b>Ime i prezime Pristupnika:</b>	Petra Pančić
<b>Studij, smjer:</b>	Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika i informacijska
<b>Mat. br. Pristupnika, godina upisa:</b>	4155b, 26.07.2016.
<b>OIB Pristupnika:</b>	94847767183
<b>Mentor:</b>	Doc. dr. sc. Goran Rozing
<b>Sumentor:</b>	Dr.sc. Venco Ćorluka
<b>Sumentor iz tvrtke:</b>	
<b>Naslov završnog rada:</b>	Analiza životnog ciklusa električnog trimera
<b>Znanstvena grana rada:</b>	<b>Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)</b>
<b>Zadatak završnog rad:</b>	
<b>Prijedlog ocjene završnog rada:</b>	Vrlo dobar (4)
<b>Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:</b>	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 2 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 3 bod/boda Razina samostalnosti: 2 razina
<b>Datum prijedloga ocjene od strane mentora:</b>	16.09.2022.
<b>Datum potvrde ocjene od strane Odbora:</b>	21.09.2022.
<b>Potvrda mentora o predaji konačne verzije rada:</b>	<i>Mentor elektronički potpisao predaju konačne verzije.</i>
	Datum:

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA **OSIJEK****IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA**

Osijek, 28.09.2022.

Ime i prezime studenta:	Petra Pančić
Studij:	Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija
Mat. br. studenta, godina upisa:	4155b, 26.07.2016.
Turnitin podudaranje [%]:	6

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Analiza životnog ciklusa električnog trimera**

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

i sumentora Dr.sc. Venco Ćorluka

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:



## 1. UVOD

Ljudi su još od davnina težili ka tome da automatiziraju što je moguće više proizvodnih procesa. Cilj im je bio u što manje vremena napraviti što više proizvoda čiji je stupanj kvalitete isti ili veći od stupnja kvalitete ručno rađenih proizvoda. Također, cilj automatizacije je bio smanjenje radne snage potrebne za izradu, što bi ujedno povećalo efikasnost proizvodnje, kao i smanjilo mogućnost ljudske pogreške pri proizvodnji. Međutim, kako je rasla ljudska populacija, tako je rasla i potreba za većom količinom proizvoda, što je dodatno ubrzalo proces automatizacije proizvodnje i tako s vremenom dovelo do Prve industrijske revolucije u 18. stoljeću. Nova industrijska postrojenja zahtijevala su više energije koja se dobivala većinom iz prirodnih i obnovljivih izvora. Nadalje, krajem 19. i početkom 20. stoljeća dolazi do Druge industrijske revolucije koja će znatno promijeniti tijek razvoja industrije. Nafta postaje jedan od najvažnijih izvora energije za industrijska postrojenja, čiji se broj naglo počinje povećavati. Povećanjem broja industrijskih postrojenja, uveliko su porasle i emisije štetnih plinova u atmosferu, količina toksičnog otpada te materijala za koje u to vrijeme nisu bili razvijeni postupci recikliranja. Emisije stakleničkih plinova (ugljikov dioksid, metan, dušikov suboksid) i freona jedni su od glavnih uzroka globalnog zatopljenja. S ciljem da se bolje ispita, prouči, pa tako i regulira negativan utjecaj industrije na okoliš, nastaje novi pristup zvan cjelovito bilansiranje (LCA, engl. *Life Cycle Assessment, Life Cycle Analysis*) ili ekobilansiranje. Ekobilansiranje je princip vrjednovanja proizvoda, materijala, proizvodnih procesa, usluga i industrijskih sustava obzirom na njihov utjecaj na okoliš. Kako bi se što dosljednije prikazali utjecaji različitih materijala na okoliš, potrebno je zabilježiti cijeli njihov životni ciklus „od kolijevke do groba“ (engl. *cradle-to-grave*). Princip *cradle-to-grave* uključuje sve faze životnog ciklusa od dobivanja sirovine pa do reciklaže ili pravilnog odlaganja, količinu energije koja se crpi iz prirodnih resursa, emisiju štetnih tvari u okolinu, te čak uzima u obzir i transport promatranog materijala. Nakon što su prikupljene sve potrebne informacije kako bi se izvršilo ekobilansiranje, dobivaju se rezultati koji se nazivaju eko-indikatori. Eko-indikator je bezdimenzionalni broj koji označava ukupni procijenjeni utjecaj nekog procesa na okoliš, gdje veći iznos indikatora odgovara većem utjecaju na okoliš. Metoda Eco-Indicator 95 određuje u kojoj mjeri različiti proizvodni procesi i materijali utječu na ljudsko zdravlje i ekosisteme, dok je metoda Eco-Indicator 99 naprednija verzija metode Eco-Indicator 95 koja sadrži puno više podataka, te se uzima u obzir više kategorija utjecaja na okoliš. LCA metoda vrši se računalnim putem, te postoji



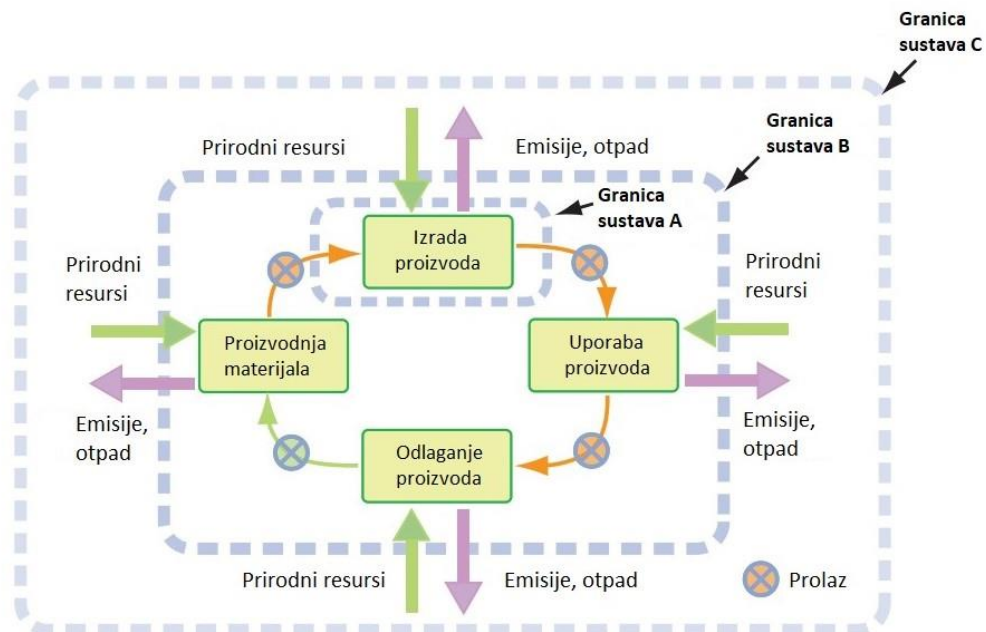
nekoliko računalnih aplikacija za različite tipove LCA kao i za različite tipove korisnika. Jedan od najpoznatijih programa za LCA metodu je program SimaPro, iako, sa razvojem tehnologije i uz pomoć novih otkrića broj sličnih aplikacija konstantno raste.

### **1.1. Zadatak završnog rada**

U ovom završnom radu potrebno je opisati LCA metodu, pojam eko-indikatora, te pojasniti sučelje programa SimaPro, u kojem će se analizirati životni ciklus električnog trimera. Na osnovu rezultata analize, procijenjeno je koje bi izmjene mogle pridonijeti boljim rezultatima, odnosno učiniti taj električni trimer boljim i manje štetnim za okolinu.

## 2. METODA CJELOVITOG BILANSIRANJA (engl. *LIFE CYCLE ASSESSMENT, LCA*)

LCA (engl. *Life Cycle Assessment*) metoda, poznata još kao ekobilansiranje ili metoda cjelovitog bilansiranja promatra životni ciklus proizvoda u svim njegovim fazama „od kolijevke do groba“ (engl. *cradle-to-grave*). Promatrane kategorije uključuju uporabu resursa, utjecaj na ljudsko zdravlje, te ekološke posljedice koje sve faze imaju na okoliš. Životni ciklus svakog proizvoda počinje eksploatacijom sirovina potrebnih za izradu proizvoda te njihovo oblikovanje u krajnji proizvod („rođenje“). Nakon toga se taj proizvod transportira i distribuira korisnicima te tada počinje njegova uporaba („zrelost“). Nakon određenog vremena uporabe, dolazi do dotrajalosti ili kvara proizvoda nakon čega se on ili reciklira ili odlaže u otpad („smrt“).



Sl. 2.1. Prikaz životnog ciklusa proizvoda „od kolijevke do groba“ [1]

Proces „od kolijevke do groba“ počinje eksploatacijom sirovina iz zemlje potrebnih za izradu proizvoda, a završava onda kada se svi materijali vrate nazad u okolinu u nekom obliku. LCA metoda promatra sve faze jednu po jednu, te procjenjuje koliki utjecaj ima svaka od faza, te kao rezultat daje onaj proizvodni put ili proizvodne procese koji imaju najmanji negativan utjecaj na okoliš. Međutim, često su te faze u međusobnoj ovisnosti tako da je utjecajem na jednu fazu moguće utjecati i na ostale [2] Cjelovito bilansiranje omogućava stručnjaku proučavanje cijelog sustava i tako sprječava dobivanje suboptimalnih rezultata, do kojih bi došlo kada bi se promatrao samo jedan proizvod ili proces. Na primjer, kada se bira između dva proizvoda, moglo bi se

pretpostaviti da je Proizvod 1 bolji za okoliš jer generira manje čvrstog otpada od Proizvoda 2. Međutim, nakon provođenja analize cjelovitog bilansiranja, može doći do rezultata koji pokazuje da zapravo Proizvod 1 ima veći utjecaj na okoliš kada se gleda iz perspektive „od kolijevke do groba“ kada se mjerenja vrše i za zrak i za zemlju i za vodu (npr. može proizvoditi više kemijskog otpada za vrijeme procesa proizvodnje). Dakle, Proizvod 2 (onaj koji generira više čvrstog otpada) onda postaje onaj koji ima manji utjecaj na okolinu iz perspektive „od kolijevke do groba“ zbog manjih emisija kemijskog otpada u odnosu na Proizvod 1 [3].

U kompaniji, LCA se može koristiti za:

- identifikaciju problematičnih područja u procesu proizvodnje;
- uspoređivanje proizvoda u fazi izrade;
- pomoć pri kratkoročnom dizajniranju proizvoda/procesa;
- pomoć pri dugoročnim strategijama vezanim za proizvod/proces;
- edukaciju zaposlenika.

Za širu javnost, tvrtka može koristiti rezultate LCA za:

- marketing;
- eko-obilježavanje;
- certificiranje;
- lobiranje;
- informiranje i educiranje [4].

## 2.1. Pregled razvoja LCA kroz povijest

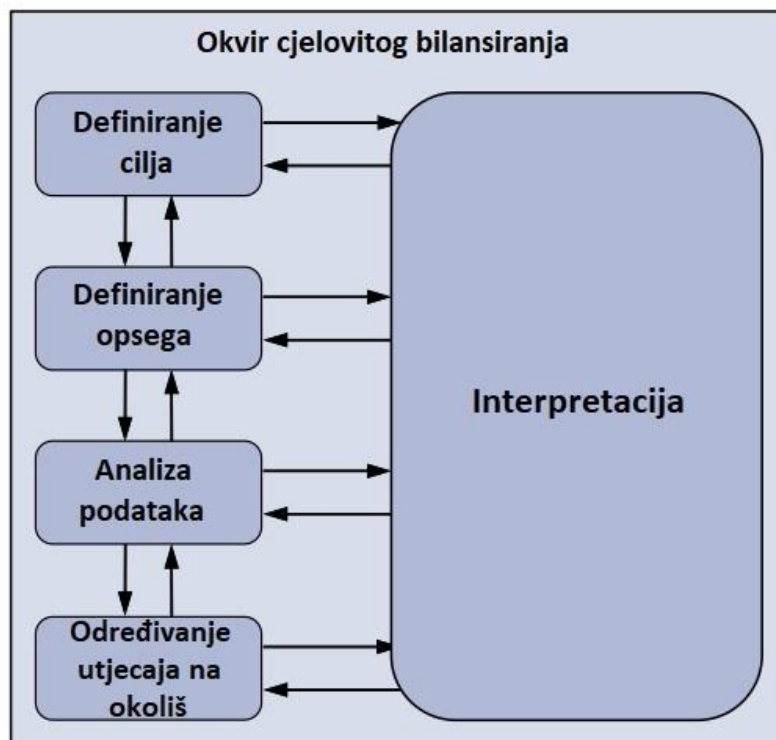
Metoda cjelovitog bilansiranja nastala je u Americi, gdje se prvi put pojavila šezdesetih godina prošlog stoljeća kada je zabrinutost zbog ograničenih količina sirovih materijala i energije potakla znanstvenike da nađu nove načine za regulaciju potrošnje energije, te za bolje planiranje potrošnje u budućnosti. 1969. godine, znanstvenici počinju istraživanje za poduzeće Coca-Cole, koje će kasnije postati temelj za današnje metode cjelovitog bilansiranja. U istraživanju su uspoređene različite ambalaže pića kako bi se utvrdila ona ambalaža koja ima najmanje štetnih emisija u okoliš i čija izrada ima najmanji utjecaj na potrošnju neobnovljivih prirodnih resursa. Nadalje, istraživanje je također uzimalo u obzir količine sirovina i goriva koje su potrebne za izradu, te u kojoj mjeri su određene količine imale utjecaj na okoliš. Ova metoda je tada bila poznata kao REPA (engl. *Resources and Environmental Profile Analysis*) koja je za cilj imala bolju regulaciju potrošnje energije i neobnovljivih resursa te poboljšanje reciklaže. U isto vrijeme, u Europi se razvija metoda poznata kao *Ecobalance*. U periodu između 1970. i 1975. provedeno je oko 15 REPA. Razlog tome bila je naftna kriza, te sve veći pritisak javnosti i zahtjevi da rezultati istraživanja budu objavljeni javno, kao i da je osigurana njihova točnost. Međutim, u razdoblju od 1975. do ranih 1980-ih slabi interes za ovakvim istraživanjima zbog smanjenja utjecaja naftne krize i jer se pažnja znanstvenika okreće ka problemima opasnog i kućnog otpada. Međutim, za to vrijeme raste interes za istraživanje utjecaja proizvoda na okoliš u Europi, te LCA stručnjaci razvijaju metode jako slične onima u Americi. Također, Europska komisija formira Ured za zaštitu okoliša čiji je zadatak standardizacija propisa o zagađenju, te čijom zaslugom 1985. stupa na snagu zakon o spremnicima za tekuće prehrambene proizvode. Ovaj zakon primorao je tvrtke da nadziru i reguliraju potrošnju energije, uporabu sirovina i stvaranje čvrstog otpada. 1988. godine, nakon što je širom svijeta znatno porasla zabrinutost o čvrstom otpadu, LCA metoda se ponovno pojavljuje kao alat za analizu ekoloških problema. Ovoga puta, porastom interesa za analizu životnog ciklusa različitih proizvoda, znatno se poboljšavaju i razvijaju nove metode za cjelovito bilansiranje. Međutim, 1991. godine pojavljuje se zabrinutost zbog nepravilne uporabe LCA od strane proizvođača u svrhu promoviranja svojih proizvoda. Nepravilna uporaba potakla je stvaranje smjernica za provođenje LCA, te 1997. dolazi do razvoja LCA standarda u okviru Međunarodne organizacije za normizaciju (ISO, engl. *International Organization for Standardization*) serije 14000. Nadalje, 2002. godine Program za zaštitu okoliša Ujedinjenih naroda (UNEP, engl. *United Nations Environment Programme*) i Međunarodno udruženje za toksikologiju okoliša i kemiju (SETAC, engl. *Society for Environmental Toxicology and Chemistry*) udružuju snage kako bi pokrenuli međunarodno partnerstvo poznato kao Inicijativa o

životnom ciklusu (engl. *Life Cycle Initiative*). Inicijativa se sastoji od tri programa kojima je za cilj podizanje svijesti o životnom ciklusu proizvoda i njihovom utjecaju na okolinu te poboljšanje popratnih alata kroz bolje prikupljanje podataka i indikatora. Tri programa uključuju:

1. **Life Cycle Management (LCM)** – podiže svijest i poboljšava vještine stručnjaka zaduženih za donošenje odluka osiguravanjem informacija te kreiranjem foruma za razmjenu praksi i iskustava, kao i provođenjem edukacijskih programa širom svijeta
2. **Life Cycle Inventory (LCI)** – poboljšava globalni pristup podacima o životnom ciklusu te osigurava da su podaci visoke kvalitete i preciznosti kako bi se stručnjacima olakšalo proces prikupljanja informacija potrebnih za istraživanje
3. **Life Cycle Impact Assessment (LCIA)** – povećava kvalitetu i globalni doseg indikatora životnog ciklusa na način da promovira rasprave te razmjenu znanja i iskustava među stručnjacima [3, 5]

## 2.2. Pregled faza u provođenju LCA metode

Međunarodna organizacija za normizaciju ISO (engl. *International Organization for Standardization*) opisuje opće standarde kada je u pitanju cjelovito bilansiranje te su na osnovu toga postavljene četiri faze procjene životnog ciklusa proizvoda (Sl. 2.2.).



Sl. 2.2. Prikaz faza cjelovitog bilansiranja [6]

Četiri faze, koje će biti detaljnije objašnjene u nastavku su:

- Definiranje cilja i opsega (engl. *Goal and Scope Definition*);
- Prikupljanje i analiza podataka (engl. *Inventory Analysis*);
- Određivanje utjecaja na okoliš (engl. *Impact Assessment*);
- Interpretacija (engl. *Interpretation*) [1].

### **2.2.1. Definicija cilja i opsega (engl. *Goal and Scope*)**

Definicija cilja i opsega je korak koji osigurava pravilno i dosljedno provođenje cjelovitog bilansiranja. U ovoj fazi definira se svrha uporabe analize, te opseg analize koji su zapravo temelj cijelog procesa i osiguravaju preciznost i točnost rezultata. Potrebno je definirati sljedeće: koji tip informacija je potreban, koliku točnost i preciznost rezultati moraju imati, te kako se ti rezultati trebaju interpretirati i predstaviti kako bi bili upotrebljivi. Proces analize može se koristiti za određivanje potencijalnog utjecaja bilo kojeg proizvoda, procesa ili usluge na okolinu, a definicija cilja i opsega će odrediti vrijeme i resurse potrebne za analizu. Ovako definirani podaci osigurati će najbitnije i najtočnije rezultate. Svaka odluka donesena u ovom koraku utječe ili na način provođenja ostatka istraživanja ili na krajnji rezultat. Na početku svakog procesa cjelovitog bilansiranja potrebno je donijeti šest odluka:

- definirati cilj/ciljeve projekta;
- definirati vrstu informacija potrebnu za donošenje odluke;
- odrediti specifikacije;
- definirati način organizacije podataka i prikaz rezultata;
- definirati opseg proučavanja;
- definirati osnovna pravila provođenja analize [3].

### **2.2.2. Prikupljanje podataka i njihova analiza (LCI, engl. *Life Cycle Inventory*)**

Prikupljanje i analiza podataka je faza cjelovitog bilansiranja koja uključuje prikupljanje i kvantificiranje relevantnih ulaznih i izlaznih podataka kroz cijeli životni vijek promatranog proizvoda ili procesa. LCI je analiza materijala i energije i bazirana je na pojednostavljenim (linearnim) sustavima [7]. Ovaj korak u procesu cjelovitog bilansiranja je veoma bitan jer bez njega ne postoji baza za usporedbu različitih utjecaja na okolinu kao ni potencijalnih poboljšanja.

Točnost, preciznost i detaljnost prikupljenih podataka nadalje se očituje u ostatku procesa cjelovitog bilansiranja. LCI analiza ima različite primjene: može pomoći kompanijama i organizacijama u usporedbi proizvoda ili procesa te u biranju materijala imajući na umu okolišne faktore. Također, može se koristiti od strane vlade za izradu propisa i regulacija vezanih za raspolaganje sirovinama i emisija u okoliš. Rezultat LCI analize predstavljen je kao lista koja sadrži količine zagađivača koji odlaze u okoliš, te količinu iskorištenih materijala i energije. Rezultati mogu biti sortirani po fazi životnog ciklusa, elementu (zrak, voda i tlo), specifičnom procesu ili bilo kojoj kombinaciji navedenog. Postoje četiri ključna koraka za provedbu LCI analize:

1. Postavljanje dijagrama procesa na kojem se vrši analiza
2. Razrađivanje plana za prikupljanje podataka
3. Prikupljanje podataka
4. Evaluacija rezultata [3]

### **2.2.3. Određivanje utjecaja na okoliš (LCIA, engl. *Life Cycle Impact Assessment*)**

LCIA je faza evaluacije mogućih utjecaja životnog ciklusa nekog proizvoda na ljudsko zdravlje i ekosustav. Dobiveni podaci temelje se na podacima o potrošnji resursa i emisija u okoliš koji su već izračunati u LCI fazi. Određivanje utjecaja na okoliš podrazumijeva procjenu ekoloških efekata i efekata na ljudsko zdravlje, kao i potrošnju resursa. Također, pokušava se naći povezanost između proizvoda ili procesa i njihovog mogućeg utjecaja na okoliš (npr. koliko bi neka količina plina ispuštena u atmosferu potencijalno utjecala na globalno zatopljenje ili stvaranje smoga). Ključni koncept ove faze su stresori. Stresor je skup uvjeta koji mogu dovesti do nekog utjecaja. Npr. ako proizvod ili proces emitira stakleničke plinove, povećanje količine emisija tih plinova će *možda* doprinijeti globalnom zatopljenju. LCIA dopušta sistematičnu proceduru za razlučivanje i karakterizaciju ovakvih tipova utjecaja na okoliš. Rezultati ove faze mogu pokazati relativnu razliku u potencijalnom utjecaju na okoliš u smislu određivanja koji od promatranih proizvoda ima više potencijalnog doprinosa globalnom zatopljenju. Postoji sedam ključnih koraka za provođenje LCIA analize:

1. **Odabir i definicija kategorija utjecaja na okoliš** – određivanje bitnih utjecaja (npr. globalno zagrijavanje, acidifikacija, toksičnost tla)
2. **Klasifikacija** – povezivanje rezultata LCI sa kategorijama utjecaja (npr. pripisivanje emisija ugljikovog dioksida globalnom zatopljenju)

3. **Karakterizacija** – modeliranje rezultata LCI faze unutar kategorija utjecaja koristeći konverzijske faktore (npr. modeliranje potencijalnog utjecaja ugljikovog dioksida i metana na globalno zatopljenje)
4. **Normalizacija** – predstavljanje potencijalnih utjecaja tako da ih je moguće usporediti (npr. usporedba utjecaja ugljikovog dioksida i metana na globalno zatopljenje)
5. **Grupiranje** – sortiranje i rangiranje indikatora (npr. sortiranje po lokaciji: lokalno, regionalno i globalno)
6. **Ocjenjivanje** – isticanje najvažnijih potencijalnih utjecaja na okoliš
7. **Evaluacija i prikaz rezultata LCIA** – sticanje boljeg razumijevanja i pouzdanosti LCIA rezultata

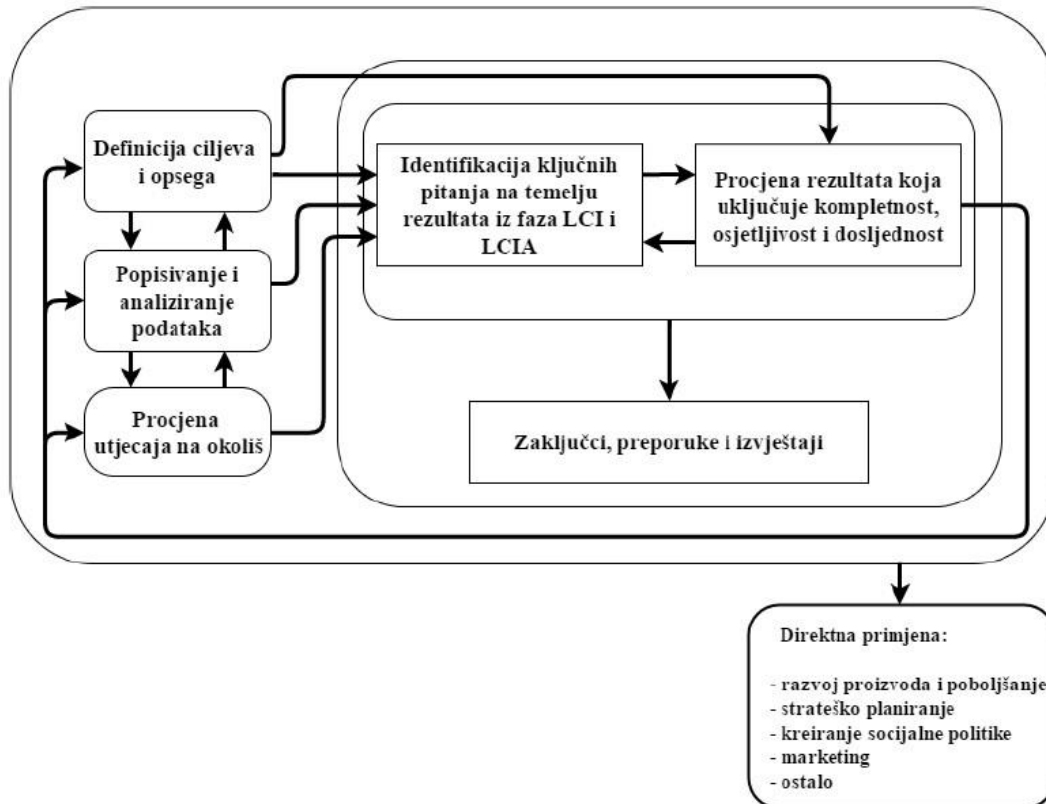
LCIA, kao i ostali alati, ima svoja ograničenja. Iako LCIA proces prati sustavnu proceduru, i dalje postoji veliki broj pretpostavki i pojednostavljenja, kao i subjektivnih procjena vrijednosti. Kako bi se osigurali što dosljedniji rezultati, potrebno je dokumentirati ograničenja i navesti detaljan opis LCIA metodologije, kao i što je moguće bolje proučavati pretpostavljene parametre, vrijednosti i nepoznate faktore.

#### **2.2.4. Interpretacija dobivenih rezultata (engl. *Interpretation*)**

Interpretacija životnog ciklusa je posljednja faza cjelovitog bilansiranja. To je sistematička tehnika kojom se identificiraju, kvantificiraju, provjeravaju i ocjenjuju informacije dobivene iz rezultata LCI i LCIA faza. ISO je definirao dva zadatka interpretacije životnog ciklusa:

1. Analizirati rezultate, doći do zaključaka, objasniti ograničenja i dati preporuke bazirane na prethodnim fazama LCA, te rezultate predstaviti na način koji je jasan i pregledan.
2. Izdati razumljivu, kompletnu i dosljednu prezentaciju rezultata LCA istraživanja u skladu sa ciljem i opsegom istraživanja. (ISO 1998b) [3].





Sl. 2.3. Veza između interpretacije i ostalih faza LCA [3]

### **3. EKO – INDIKATORI KAO POKAZATELJI REZULTATA LCA ANALIZE**

Svaki proizvod u nekoj mjeri utječe na okolinu. Potrebno je nabaviti sirovinu, izraditi proizvod, te onda taj proizvod zapakirati i distribuirati korisnicima. Na kraju svog životnog vijeka, taj proizvod je potrebno odložiti. Ako se želi naći ukupan utjecaj nekog proizvoda na okolinu, potrebno je proučiti sve faze njegovog životnog ciklusa i taj se proces izvodi metodom cjelovitog bilansiranja (LCA). Ova metoda može se koristiti na dva načina:

1. Za određivanje ukupnog utjecaja proizvoda ili procesa na okolinu sa ciljem njihovih usporedbi. Takve informacije mogu pomoći dizajneru u odabiru različitih načina izrade ili vrste materijala.
2. Za određivanje najvećih i najvažnijih utjecaja nekog proizvoda na okolinu. Na osnovu tih informacija dizajneri se onda mogu posvetiti poboljšanju tih specifičnih utjecaja.

Međutim, proizvođač koji želi koristiti analizu životnog ciklusa u procesu dizajniranja susreće se sa dva glavna problema:

1. Rezultat analize je težak za interpretaciju. U sklopu analize moguće je odrediti doprinos proizvoda npr. povećanju stakleničkog efekta ili sličnim utjecajima na okoliš, ali ukupan utjecaj proizvoda na okoliš i dalje ostaje nepoznat. Razlog tome je nedostatak ukupne procjene utjecaja na okoliš.
2. Općenito, proces prikupljanja informacija o okolišu tijekom životnog ciklusa nekog proizvoda je jako kompliciran i dugotrajan. Iz tog razloga, često nije moguće pravovremeno dobiti rezultate LCA za vrijeme trajanja procesa dizajniranja.

Eko-indikator je riješio ovaj problem na sljedeći način:

1. LCA metoda je proširena tako da uključuje i krajnju procjenu. Ovo je omogućilo da se cijelom utjecaju nekog proizvoda na okoliš dodijeli jedan broj baziran na rezultatima analize. Taj broj se naziva eko-indikator.
2. Informacije su prikupljene unaprijed za većinu poznatih materijala i procesa i za njih je već izračunat eko-indikator.

Dakle, eko-indikator materijala ili procesa je broj koji predstavlja utjecaj tog materijala ili procesa na okoliš. Što je eko-indikator veći, to je veći i utjecaj na okoliš. Drugim riječima, eko-indikator predstavlja pojednostavljene rezultate LCA analize [8]. To je bezdimenzionalni broj ali ga je

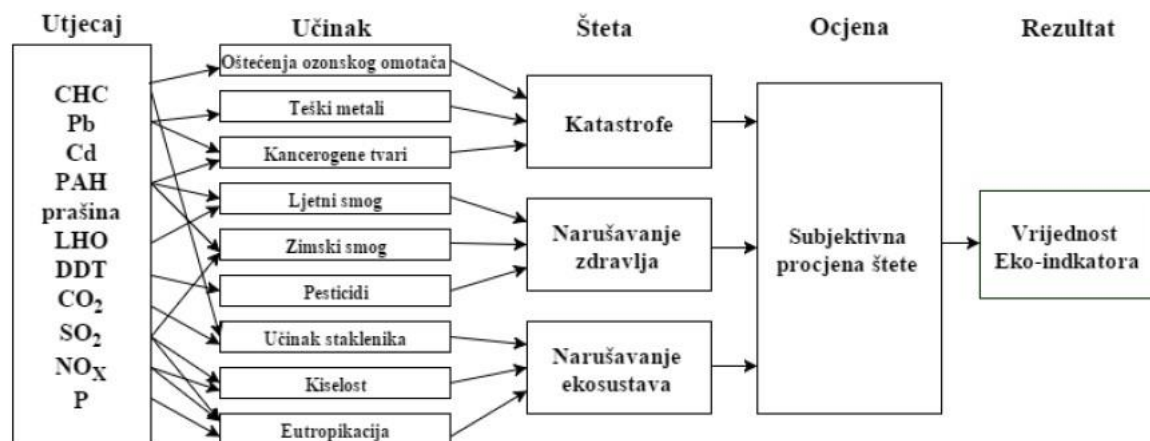
moгуće izraziti kao bodove ili milibodove (engl. *Point, Pt.*). Eko-indikatori omogućuju lakšu usporedbu dvaju proizvoda tako da jedinica mjere nije presudna.

### 3.1. Općenito o metodi *Eco-Indicator 95*

Eco-Indicator 95 je alat za procjenu rezultata LCA koji je specifično kreiran za poboljšanje dizajna proizvoda. Iako je ovaj alat od velike koristi dizajnerima, često je na meti kritike od strane stručnjaka za okoliš jer ne uključuje nikakve okolišne aspekte. Ovaj alat je baziran na metodi DTT (engl. *Distance-to-target*). DTT predstavlja procjenu razlike/udaljenosti („*distance*“) između trenutne situacije i željenog stanja („*target*“). Koristeći Eco-Indicator 95, prave činjenice se ne procjenjuju odmah nego u dvije faze koje sadrže procjenu efekta, te se nakon toga bilježe rezultati:

- **klasifikacija** – informacije se prikupljaju i grupiraju na osnovu efekta na okoliš i tako stvaraju tzv. kategoriju utjecaja
- **karakterizacija** – u svakoj kategoriji utjecaja, jedan ulazni podatak označava se kao referentna točka, dok se ostali podaci prikazuju u odnosu na referentnu točku.

Kada se određuju kategorije utjecaja u Eco-Indicator 95 metodi, važno je znati da je usporedba utjecaja jedino moguća kada su u pitanju efekti koji uzrokuju usporedivu štetu [9].



LHO - lako hlapiva otapala, CHC - klorougljikovodici, PAH - policiklički aromatski ugljikovodici

Sl. 3.1. Grafički prikaz *Eco-Indicator 95* metode [8]

Kao što je već prije spomenuto, Eco-Indicator 95 metoda imala je određene nedostatke pa je ocijenjena kao nepotpuna. Iz tog razloga dolazi do razvijanja nove, poboljšane i opširnije metode zvane Eco-Indicator 99.

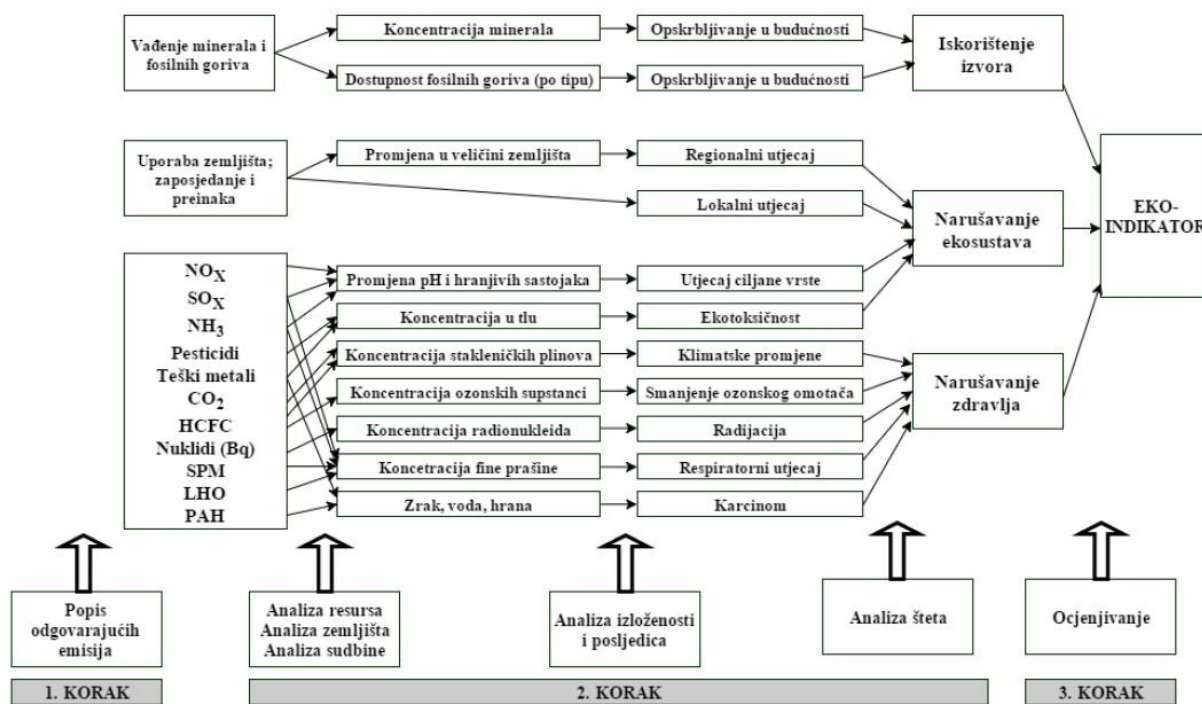
### 3.2. Općenito o metodi *Eco-Indicator 99*

Nizozemsko Ministarstvo graditeljstva, prostornog uređenja i okoliša (VROM, engl. *Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment*) pokrenulo je novi projekt čiji je cilj nadograditi i poboljšati rezultate dobivene *Eco-Indicator 95* metodom. Također, cilj je bio i potaknuti sudionike tržišta na posvećivanje više pažnje utjecaju na okoliš pri donošenju važnih odluka, kao i preuzimanje dijela odgovornosti za poboljšanje održivosti potrošnje [10]. Tako nastaje *Eco-Indicator 99* metoda koju je razvila nizozemska tvrtka PRé Consultants B. V.. To je metoda procjene utjecaja životnog ciklusa proizvoda na okoliš (LCIA, engl. *Life Cycle Impact Assessment*). *Eco-Indicator 99* pomaže projektantima u procjeni utjecaja nekog proizvoda na okoliš računajući eko-indikatore za korištene materijale i proizvodne procese. Izračunate vrijednosti predstavljaju smjernice za poboljšanje proizvoda. Kao što je već ranije spomenuto, veća vrijednost ovih rezultata upućuje na veći utjecaj na okoliš, te se ti rezultati izražavaju u bodovima ili milibodovima. Ova metoda podijeljena je na tri dijela:

- proizvodnja sirovina, njihova obrada i tehnološki postupak izrade;
- transport proizvoda, potrošnja energije i potrošeni materijal;
- odlaganje.

*Eco-Indicator 99* je ujedno i znanstvena metoda procjene utjecaja na okoliš kao i praktična metoda za eko-dizajn i omogućava bolju usporedbu dvaju proizvoda ili dijelova proizvoda tako što krajnji rezultat predstavlja kao jednu vrijednost [11]. Budući da je pojam „okoliš“ dosta širok pojam i često nije baš jasno što sve podrazumijeva, potrebno je što preciznije definirati taj pojam. Metodom *Eco-Indicator 99* pojam okoliša definiran je sa tri tipa negativnog utjecaja, odnosno tri područja moguće štete:

- narušavanje ljudskog zdravlja;
- narušavanje ekosustava;
- iskorištavanje resursa [10].



LHO - lako hlapiva otapala, PAH - policiklički aromatski ugljikovodici, HCFC - klorofluorougljikovodici

Sl. 3.2. Grafički prikaz Eco-Indicator 99 metode [10]

### 3.2.1. Područje narušavanja ljudskog zdravlja (engl. *Damages to Human Health*)

Kategorija ljudskog zdravlja izražava se u stopi izgubljenih godina zdravog života (DALY, engl. *Disability Adjusted Life Years*). Ona uključuje broj i trajanje bolesti, te broj godina izgubljenih zbog prerane smrti uzrokovane okolišnim faktorima. Ovi faktori uključuju klimatske promjene, trošenje ozonskog omotača, pogoršanje kvalitete zraka, kancerogeni i nekancerogeni utjecaji, te posljedice nuklearnog zračenja. U sklopu ovog modela postoje četiri koraka za procjenu štete:

1. **Analiza sudbine** – povezivanje ispuštanja štetnih plinova (izražene preko mase) sa privremenom promjenom koncentracije u zraku, vodi, tlu ili hrani
2. **Analiza izloženosti** – povezivanje privremene koncentracije sa dozom
3. **Analiza efekta** – povezivanje doze sa utjecajima na zdravlje, predviđanje utjecaja načina i učestalosti bolesti i ostalih efekata
4. **Analiza štetnosti** – povezivanje utjecaja na zdravlje sa stopom izgubljenih godina zdravog života (DALY) koristeći procjene broja godina života sa invaliditetom (YLD, engl. *Years Lived Disabled*) i brojem izgubljenih godina života (YLL, engl. *Years of Life Lost*) [10]

### 3.2.2. Područje narušavanja ekosustava (engl. *Damages to Ecosystem*)

Kategorija narušavanja ekosustava izražena je u stopi vrsta koje su nestale iz određenog područja zbog promjena u okolišu i uključuje utjecaje na raznolikost vrsta i emisije štetnih tvari. Ova definicija nije homogena kao ona od narušavanja ljudskog zdravlja, nego podrazumijeva sljedeće:

- **ekotoksičnost** – stopa svih vrsta živih bića prisutnih u okolišu koje su izložene nekoj vrsti toksičnosti (najviše se odnosi na mikroorganizme, biljke, alge, vodozemce, mekušce, rakove i ribe);
- **eutrofikacija i acidifikacija** – tretiraju se kao jedna kategorija štete i podrazumijevaju utjecaj na specifične vrste u prirodnom okruženju;
- **iskorištavanje i transformacija tla** – opisuje prouzročenu štetu. Uključuje lokalni, kao i globalni učinak i odnosi se na iskorištavanje šumskih i poljoprivrednih resursa [10].

### 3.2.3. Područje iskorištavanja resursa (engl. *Resource extraction*)

Kategorija iskorištavanja resursa podrazumijeva parametar koji označava kvalitetu preostalih zaliha minerala i fosilnih goriva. Kako se količina ovih zaliha smanjuje, tako raste količina energije potrebna za dobivanje ovih materijala u budućnosti, odnosno, za istu količinu energije će se dobivati materijali manje kvalitete [10].

## 3.3. Pregled standardnih eko-indikatora

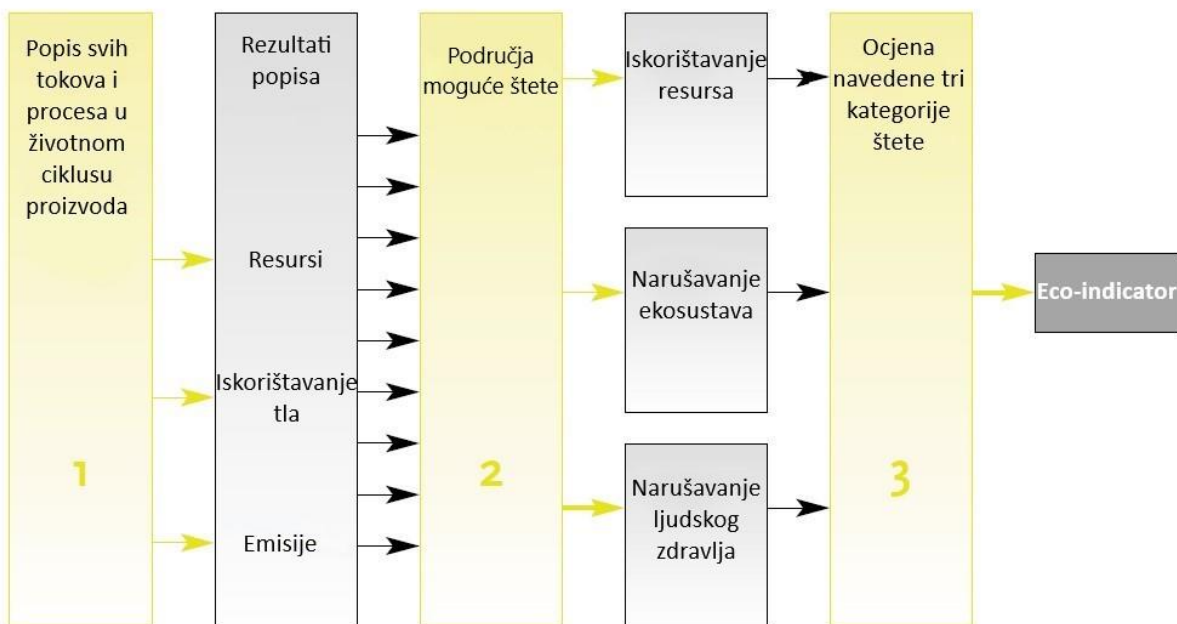
Standardni eko-indikatori su unaprijed izračunate vrijednosti koje izražavaju ukupan utjecaj nekog proizvoda ili procesa na okoliš. Koristeći standardne eko-indikatore, projektant može sam procijeniti utjecaj životnog ciklusa željenog proizvoda. Također, projektant ima mogućnost usporedbe različitih alternativa kada je u pitanju dizajniranje proizvoda. Računanje standardnih eko indikatora je složen proces koji se sastoji od tri koraka koji će kasnije biti detaljnije opisani. Standardni eko-indikatori nisu namijenjeni za promoviranje proizvoda i njihovo isticanje, kao ni za javno dokazivanje da je proizvod A bolji od proizvoda B. Također, Vlada ih ne smije koristiti kao alat za postavljanje standarda i smjernica. Dakle, standardni eko-indikatori imaju samo jednu svrhu, a to je da pomognu unaprjeđivanju proizvoda tako da budu što je moguće više ekološki prihvatljivi. Standardne *Eco-Indicator 99* vrijednosti unaprijed su izračunate za:

- **materijale** – indikatori za proizvodni proces bazirani su na jednom kilogramu materijala i uključuju sve faze od vađenja rude do zadnjeg procesa dobivanja gotovog materijala;
- **proizvodni proces** – tretman i način obrade različitih materijala izraženi su u jedinici koja odgovara svakom pojedinom načinu obrade (npr. m<sup>2</sup> valjanog lima ili 1 kilogram ekstrudirane plastike);
- **proces transporta** – uključuje emisije vozila i količine goriva potrebne za prijevoz, kao i emisije od procesa dobivanja samog goriva. Vrijednosti su većinom izražene u toni po kilometru (*tona/km*);
- **proces dobivanja energije** – odnosi se na procese dobivanja goriva i električne energije. Standardne jedinice izražene su u kilovat satima (kWh);
- **odlaganje** – vrijednosti su izražene u kilogramima materijala i podijeljene su u ovisnosti od vrste materijala i otpada koji proizvode [12].

### 3.4. Metodologija korištena za izračun eko-indikatora

Proračun standardnih eko-indikatora vrši se specijalno razvijenom tehnologijom. Proces se sastoji iz tri koraka:

1. **Popisivanje procesa** – uključuje sve relevantne emisije, proces dobivanja sirovina i iskorištavanje tla koji su dio životnog ciklusa proizvoda. Kako bi se ovaj korak točno proveo, potrebno je koristiti dosljedne podatke kada su u pitanju: granice sustava (što je uključeno a što ne), alokacija (kako se nositi sa procesima koji imaju više od jednog izlaznog podatka), regionalni aspekti (koristi li se nizozemska, švicarska ili europska baza podataka), kvaliteta problematičnih podataka (godine, zastupljenost, itd.)
2. **Područja moguće štete** – podrazumijeva računanje svih vrsta štete koji različiti procesi uzrokuju ljudskom zdravlju, ekosustavu i prirodnim resursima (opisano ranije, u potpoglavljima 3.2.1., 3.2.2. i 3.2.3.)
3. **Ocjenjivanje** – najvažniji korak u metodologiji izračuna eko-indikatora. Podrazumijeva ocjenjivanje utjecaja na tri glavna područja moguće štete (ljudsko zdravlje, ekosustav i prirodni resursi)



Sl. 3.3. Grafički prikaz metodologije izračuna eko-indikatora [12]



## 4. PREGLED PROGRAMSKOG ALATA SIMAPRO

SimaPro je programski alat razvijen od strane nizozemske tvrtke PRé Consultants kao skup znanstveno dokazanih informacija dostupnih svima, kako bi se izbjeglo objavljivanje i korištenje netočnih rezultata. To je alat napravljen sa ciljem što je moguće većeg olakšanja donošenja odluka kada je u pitanju dizajn nekog proizvoda ili poboljšavanje životnih ciklusa proizvoda i procesa kako bi se smanjio teret koji oni stvaraju na okoliš. Ovaj programski alat također pomaže stručnjacima da dobiju bolju sliku načina na koji različiti proizvodi i procesi imaju utjecaj na okolinu, te ih na taj način usmjeri ka boljem i efikasnijem dizajnu proizvoda. SimaPro je vodeći programski alat za provođenje analize cjelovitog bilansiranja već više od 30 godina, a koristi se u više od 80 zemalja svijeta. Sa programskim alatom SimaPro moguće je sljedeće:

- Jednostavno modelirati te analizirati složene životne cikluse na sistematičan i transparentan način;
- Mjeriti utjecaje nekog proizvoda na okoliš kroz sve njegove životne faze;
- Utvrditi žarišta u svakom dijelu opskrbnog lanca, sve od eksploatacije sirovog materijala pa do izrade gotovog proizvoda, njegove distribucije, upotrebe i odlaganja [13].

### 4.1. Licenca *SimaPro For Business* i uključeni paketi

*SimaPro For Business* razvijen je u cilju što boljeg mjerenja efikasnosti proizvoda, te korištenje dobivenih rezultata u cilju poboljšanja izrade proizvoda kao i stjecanja prednosti nad konkurencijom. Ova verzija računalne aplikacije pruža korisniku veoma visok nivo transparentnosti informacija kod donošenja bitnih odluka i dobivanja dosljednih rezultata prilikom analize. *SimaPro For Business* razvijen je kako bi se poboljšala komunikacija na nivou tvrtke i dobilo što više podrške kada su u pitanju rezultati. SimaPro može prikazati rezultate na način koji će suradnicima u tvrtki uvelike pomoći pri donošenju odluka kako bi se postigli željeni ciljevi [14]. *SimaPro For Business* sadrži tri paketa:

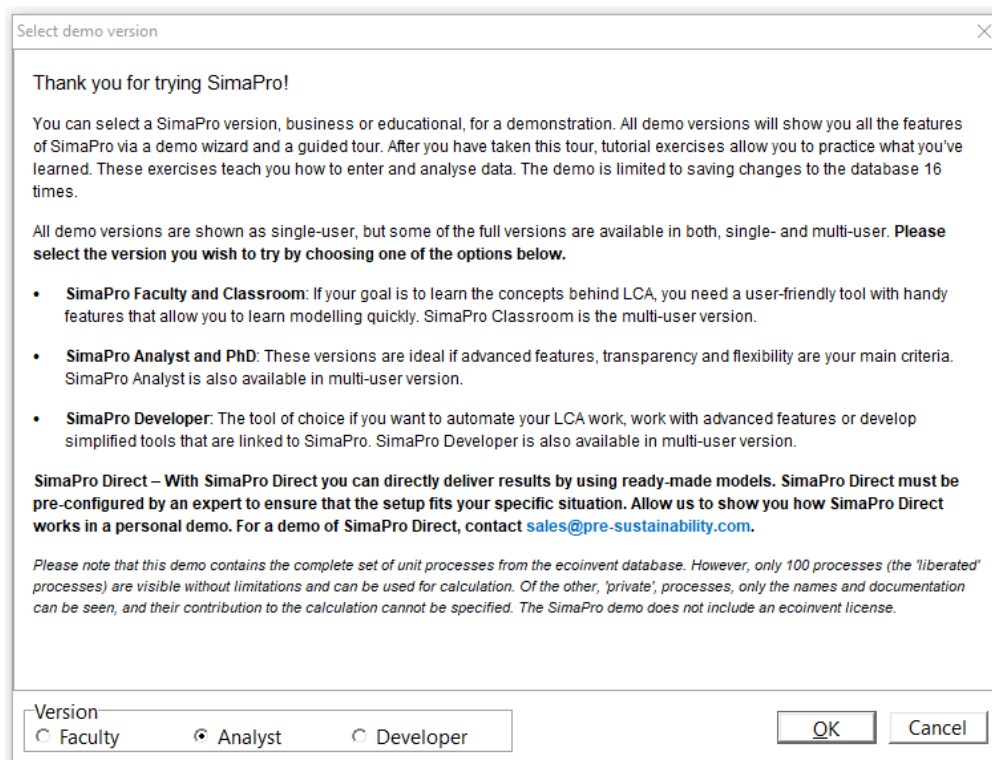
- **Power user paket** – paket koji je zapravo najopsežnija vrsta programskog alata te ima mogućnost izravnog Excel/ASP povezivanja [15];
- **Expert user paket** – paket dizajniran za LCA stručnjake kojima je potreban programski paket sa snažnim značajkama kao što su značajke modeliranja i procjene podataka [16];
- **Business user paket** – paket koji korisniku lako i učinkovito omogućava pregled rezultata analize životnog ciklusa proizvoda, procesa ili organizacije [14].

## 4.2. Licenca *SimaPro For Education* i uključeni paketi

Za akademske svrhe, trenutno ne postoji bolji alat od alata *SimaPro*. Informacije koje pruža su dosljedne, znanstveno dokazane i pružaju najveći nivo transparentnosti od svih ostalih alata za LCA. Ovaj paket dozvoljava korisniku uvid u cijelu opskrbnu mrežu, pregled baza podataka kao i pojedinačnih procesa, te na taj način korisniku pruža punu kontrolu nad donošenjem odluka i stvaranja pretpostavki. Ove značajke esencijalne su kada je u pitanju istraživanje visoke kvalitete [17]. *SimaPro For Education* također sadrži tri paketa:

- ***SimaPro PhD paket***– paket dizajniran za LCA stručnjake koji sadrži napredne značajke potrebne za sveobuhvatnu analizu. Ovaj paket namijenjen je samo za jednog korisnika, odnosno samo jedna osoba može raditi na jednom projektu u datom trenutku [18];
- ***SimaPro Classroom paket***- paket koji je osnovna verzija računalne aplikacije *SimaPro* namijenjena za profesore i studente. Čak do 40 studenata može u isto vrijeme raditi na jednom projektu, dok profesor ima mogućnost nadgledanja njihovog napretka [19];
- ***SimaPro Faculty paket*** – paket koji predavačima nudi funkcionalnosti potrebne kako bi što bolje dočarali bit istraživanja životnog ciklusa idućoj generaciji te ih što bolje pripremili za izazove u budućnosti [20].

Nakon pokretanja računalne aplikacije *SimaPro*, otvara se sučelje koje nam omogućava odabir rada u tri različite verzije (Sl. 4.1.).



Sl. 4.1. Sučelje za odabir verzije rada LCA analize

- ***SimaPro Faculty and Classroom*** – jednostavna verzija koja je veoma dobro prilagođena svakom korisniku, te omogućuje lako učenje i razumijevanje, te brzu analizu. Cilj ove verzije je učenje koncepta i osnova LCA;
- ***SimaPro Analyst and PhD*** – ova verzija idealna je ako su glavni kriteriji analize transparentnost i fleksibilnost rezultata te je namijenjena većinom LCA stručnjacima;
- ***SimaPro Developer*** – kompleksna verzija pogodna za automatiziranje procesa LCA, te rad sa naprednim značajkama, te posjeduje direktne veze sa programima Excel/ASP. Koristeći ovu verziju, također je moguće izraditi i pojednostavljene alate povezane sa programskim alatom SimaPro.

## 5. ANALIZA ŽIVOTNOG CIKLUSA NA PRIMJERU ELEKTRIČNOG TRIMERA MEROX MX-CL-18

Prvi korak analize životnog ciklusa je popis i analiza svih elemenata i materijala promatranog proizvoda. U ovom koraku biti će prikazani svi dijelovi spomenutog električnog trimera, udio svih materijala koji su dio tog trimera, te dane sve potrebne informacije vezane za njegov životni ciklus.

Promatrani trimer proizveden je od strane tvrtke Merox, model MX-CL-18, nazivne snage 45W, nazivnog napona 100-240V i frekvencije 50-60Hz. Trimer je u upotrebi bio otprilike 5 godina (svake godine od travnja do listopada), što iznosi oko 14 puta godišnje po 30 minuta pa se procjenjuje da je potrošio oko 2,646kWh električne energije. Trimer se koristio na površini od približno 12m<sup>2</sup>. Razlog dotrajavanja proizvoda je postepeno trošenje baterije koja se u međuvremenu prestala proizvoditi, tako da ju nije bilo moguće zamijeniti.



*Sl. 5.1. Električni trimer Merox MX-CL-18*

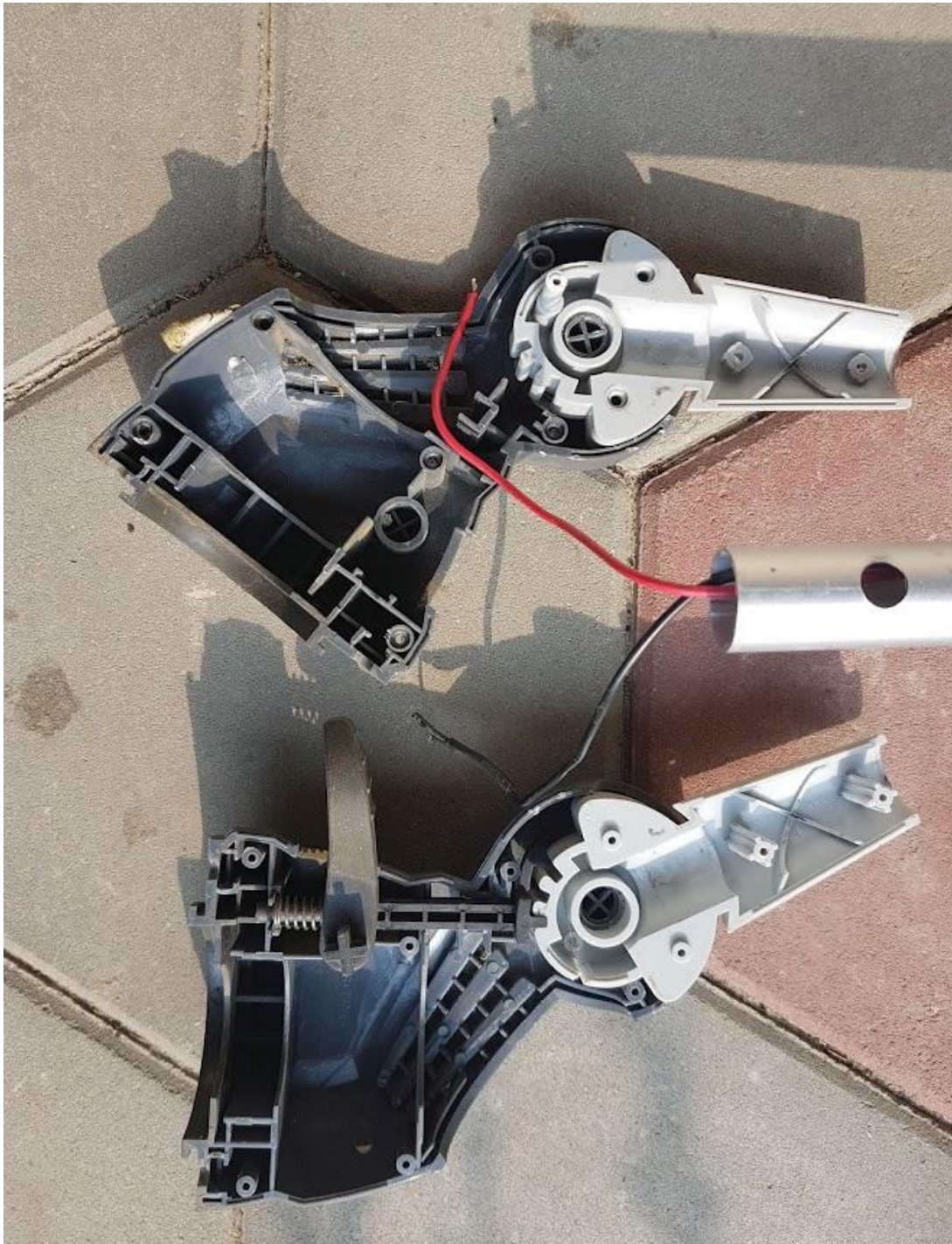
Na slikama 5.2. do 5.6. vidljiv je proces postepenog rastavljanja trimera, te se mogu pobliže vidjeti svi njegovi dijelovi:

Na slici 5.2. moguće je vidjeti djelomično rastavljen promatrani električni trimmer, gdje su od rukohvata i ručke odvojeni ostali dijelovi (glava, baterija i kućište, motor, pomoćna tipkala itd.). U samoj konstrukciji proizvoda, predviđeni su načini za njegovo rastavljanje tako da bi se na kraju životnog ciklusa taj proizvod mogao odložiti na što ekološki prihvatljiviji način.



*Sl. 5.2. Postupak rastavljanja električnog trimera*

Na slici 5.3. prikazani su polimerni dijelovi glave električnog trimera koji su jasno označeni, te je tijekom faze prikupljanja podataka sa sigurnošću bilo moguće utvrditi od kojeg materijala su izrađeni dijelovi glave (polimer – ABS i polimer – PC). Također, moguće je vidjeti i dio teleskopskog aluminijskog produžetka ručke, kroz koji prolaze vodiči koji idu od upravljačke ručke trimera kroz aluminijski produžetak pa sve do motora koji se nalazi u glavi trimera, te na taj način omogućuju kontrolu različitih funkcija trimera korištenjem tipkala koji su ugrađeni u ručku.



*Sl. 5.3. Prikaz polimernih dijelova glave električnog trimera*

Na slici 5.4. prikazana je djelomično rastavljena ručka električnog trimera. U unutrašnjosti ručke također moguće je vidjeti vodiče koji idu iz ručke do motora, te je moguće vidjeti i neke od tipkala za kontrolu brzine okretaja rotirajuće glave silka. Nadalje, moguće je vidjeti i prikaz spoja polimernog i aluminijskog dijela, gdje je konstruktor predvidio lako rastavljanje tih dijelova.



*Sl. 5.4. Prikaz rastavljene ručke električnog trimera*

Nadalje, na slici 5.5. moguće je vidjeti rastavljeni električni motor promatranog trimera. Rastavljeni dijelovi uključuju magnete, metalni zaštitni plašt, zaštitne pločice, rotor i nosač kliznih kontakata. Međutim, prosječnom korisniku bio bi težak proces rastavljanja motora jer je teško odvojiti magnetske limove od statorskih namota, tako da se taj dio električnog trimera većinom odlaže kao jedan dio, što bi moglo smanjiti ukupni stupanj recikličnosti promatranog trimera.



*Sl. 5.5. Rastavljeni električni motor promatranog trimera*

Na slici 5.6. prikazana je baterija električnog trimera i njeno kućište. Konstruktor je u ovom slučaju omogućio veoma lako odvajanje baterije od ostatka električnog trimera, međutim, sama baterija se smatra toksičnim otpadom i općenito ima najveće opterećenje kroz sva tri područja moguće štete, tako da u slučaju pogrešnog odlaganja baterije može doći do ozbiljnog oštećenja ekosustava, pa čak i ljudskog zdravlja.





Sl. 5.6. Baterija i kućište baterije električnog trimera

U Tablici 5.1. nalaze se svi dijelovi rastavljenog električnog trimera. Svaki dio je pojedinačno izdvan, određeni su vrsta elementa (složeni element, pojedinačni element ili sklopni element), vrsta materijala, te su određeni stupnjevi recikličnosti kao i recikličnost svakog pojedinog elementa. Recikličnost pojedinih elemenata izračunata je kao umnožak mase elementa, broja komada elemenata i stupnja recikličnosti. Stupanj recikličnosti izražen je kao tablična vrijednost za pojedine grupe materijala. Ukupna masa promatranog trimera iznosila je 2173,1 grama i sastoji se od 41 različitog dijela, a tijekom svog životnog ciklusa trimer je potrošio 2,646kWh energije. Ukupna recikličnost električnog trimera računa se formulom (5-1) i iznosi 0,9047, odnosno 90,47%.

$$R = \frac{\sum m_i \cdot b_i \cdot r_i}{M \cdot r_{max}} \quad (5-1)$$

Činjenica da je ukupni stupanj recikličnosti promatranog električnog trimera visok mogao se i unaprijed pretpostaviti samo promatranjem sedmog stupca u tablici 5.1.. Taj stupac predstavlja ocjenu recikličnosti svakog pojedinog dijela, koja većinski iznosi 5, sa izuzetkom baterije, čija ocjena recikličnosti iznosi 0 jer se baterija smatra toksičnim otpadom koji je štetan kako za ljudsko zdravlje, tako i za ekosustav.

Tablica 5.1. Analiza recikličnosti električnog trimera

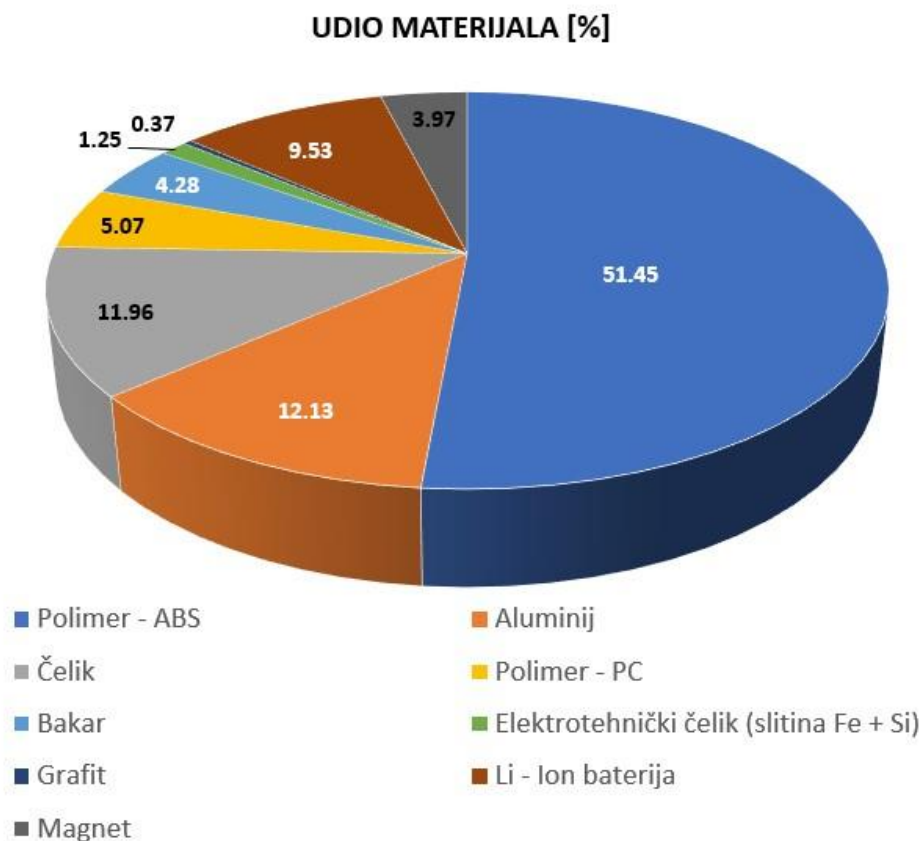
Naziv proizvoda: Električni trimmer Merrox MX-CL-18				Masa: 2173.1g				
Proizvođač: Merrox				Uzrok dotrajanja: Dotrajanje baterije				
God. Proizvodnje: 2013.				Datum obrade: 20.7.2022.				
Redni broj	Naziv elementa	Vrsta elementa (SE, PE, SK)	Vrsta materijala	Masa elementa g/kom	Komada po proizvodu kom	Stupanj recikličnosti 0..5	Masa elemenata (5x6) grama	Recikličnost elementa (7x8)
i			$vm_i$	$m_i$	$b_i$	$r_i$	$m_i \cdot b_i$	$m_i \cdot b_i \cdot r_i$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Upravljačka ručka trimera	SK	Polimer - ABS	279.62	1	5	279.62	1398.10
2	Regulator brzine vrtnje	PE	Polimer - ABS	11.55	1	5	11.55	57.75
3	Pomoćno tipkalo regulacije vrtnje	PE	Polimer - ABS	7.07	1	5	7.07	35.35
4	Ukrasna matica rukohvata	PE	Polimer - ABS	19.25	1	5	19.25	96.25
5	Ukrasna matica ručke	PE	Polimer - ABS	7.67	1	5	7.67	38.35
6	Teleskopski produžetak ručke	SK	Aluminij	263.60	1	5	263.60	1318.00
7	Rukohvat	SK	Polimer - ABS	133.11	1	5	133.11	665.55
8	Nosač rukohvata	SK	Polimer - ABS	51.28	1	5	51.28	256.40
9	Stezaljka rukohvata	SE	Polimer - ABS	2.33	1	5	2.33	11.65
10	Vijak M6 x 100	SE	Čelik	19.03	1	5	19.03	95.15
11	Vijak M6 x 60	SE	Čelik	11.53	1	5	11.53	57.65
12	Matica M6	SE	Čelik	2.10	2	5	4.20	21.00
13	Opruga 10 x 35	SE	Čelik	1.17	2	5	2.34	11.70
14	Opruga 10 x 15	SE	Čelik	0.50	1	5	0.50	2.50
15	Podložna pločica	SE	Čelik	2.54	1	5	2.54	12.70
16	Kućište pogonske glave trimera	SK	Polimer - ABS	219.12	1	5	219.12	1095.60
17	Sklop podešavanja položaja glave	SK	Polimer - ABS	62.85	1	5	62.85	314.25
18	Poluga za podešavanje nagiba	PE	Polimer - PC	6.88	1	5	6.88	34.40
19	Pedala pogonske glave	PE	Polimer - PC	19.09	1	5	19.09	95.45
20	Ukrasni poklopac zgloba glave	PE	Polimer - ABS	3.08	2	5	6.16	30.80
21	Zaštitni poklopac kućišta	PE	Polimer - ABS	11.42	1	5	11.42	57.10
22	Štitnik rotora	PE	Polimer - ABS	167.68	1	5	167.68	838.40
23	Kućište elektromotora	SK	Čelik	68.75	1	5	68.75	343.75
24	Bakreni namoti	PE	Bakar	88.02	1	5	88.02	440.10
25	Dinamo lim	PE	Elektrotehnički čelik (slitina Fe + Si)	27.08	1	5	27.08	135.40
26	Osovina	PE	Čelik	13.54	1	5	13.54	67.70
27	Ventilator	PE	Polimer - PC	6.77	1	5	6.77	33.86
28	Metalni zaštitni plašt	PE	Čelik	47.59	1	5	47.59	237.95
29	Ležajni štiti	SK	Čelik	11.65	1	5	11.65	58.25
30	Zaštitna pločica	PE	Čelik	45.79	1	5	45.79	228.95
31	Opruga 18 x 60	SE	Čelik	5.84	1	5	5.84	29.20
32	Rotirajuća glava silka	SK	Polimer - PC	77.43	1	5	77.43	387.15
33	Vijak M6 x 15	SE	Čelik	4.33	2	5	8.66	43.30
34	Matica M6	SE	Čelik	1.92	2	5	3.84	19.20
35	Nosač kliznih kontakata	PE	Polimer - ABS	10.00	1	5	10.00	50.00
36	Pločica	PE	Bakar	5.00	1	5	5.00	25.00
37	Četkice	PE	Grafit	8.00	1	5	8.00	40.00
38	Magnet elektromotora	PE	Magnet	86.27	1	5	86.27	431.35
39	Vijak M3 x 15	SE	Čelik	1.00	14	5	14.00	70.00
40	Kućište baterije	PE	Polimer - ABS	129.00	1	5	129.00	645.00
41	Baterija električnog trimera	PE	Li - Ion baterija	207.00	1	0	207.00	0.00
					59		2173.1	9830.3

U tablici 5.2 prikazan je udio svakog pojedinog materijala korištenog za izradu trimera, čiji su iznosi izraženi u gramima i u postotcima.

*Tablica 5.2. Prikaz udjela pojedinih materijala u izradi trimera izražen u postotcima i gramima*

<b>MATERIJAL</b>	<b>UDIO [%]</b>	<b>MASA [g]</b>
Polimer - ABS	51,45	1118,11
Aluminij	12,13	263,60
Čelik	11,96	259,80
Polimer - PC	5,07	110,17
Bakar	4,28	93,02
Elektrotehnički čelik (slitina Fe + Si)	1,25	27,08
Grafit	0,37	8,00
Li - Ion baterija	9,53	207,00
Magnet	3,97	86,27
Ukupno	100,00	2173,1

Na slici 5.7. prikazan je graf koji predstavlja udio svakog pojedinog materijala izražen u postotcima, tako da veći udio predstavlja veću površinu na grafu. Na prvi pogled moguće je primijetiti da prevladava tamnoplava boja, koja predstavlja ABS – polimer i koji zauzima više od 50% površine na grafu.



*Sl. 5.7. Grafički prikaz udjela pojedinih materijala izražen u postotcima*

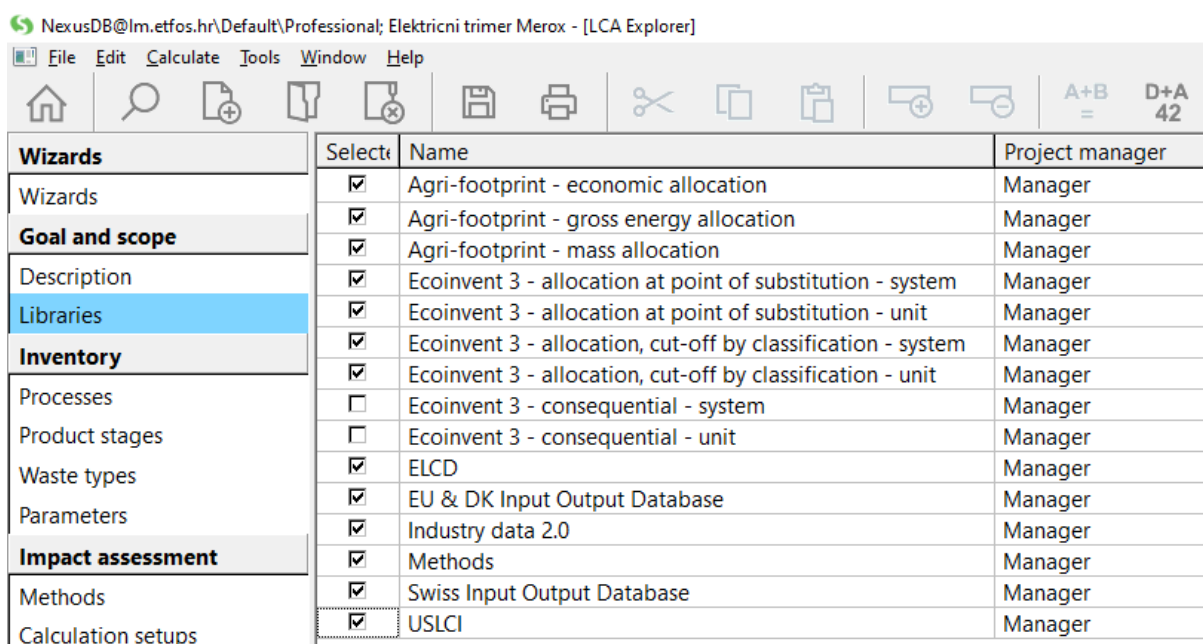
Iz tablice, kao i iz grafa vidljivo je da je ovaj električni trimmer većinom izrađen od ABS – polimera, te nešto manje aluminija i čelika. Svi plastični dijelovi rukohvata, dijelovi pogonske glave trimera (osim poluge za podešavanje nagiba i pedale pogonske glave, koji su izrađeni od polikarbonata), nosač kliznih kontakata i kućište baterije izrađeni su od ABS – polimera, dok je od aluminija izrađen teleskopski produžetak ručke, a od čelika razni sitni dijelovi kao što su matice, vijci i opruge.

### **5.1. Primjena programskog alata SimaPro na primjeru električnog trimera Merox MX-CL-18**

Nakon provedenog procesa rastavljanja, te postupka identificiranja, vaganja i dokumentiranja svakog pojedinog elementa, dobivene informacije potrebno je unijeti u sučelje programskog alata SimaPro, kako bi se započela provedba analize. U nastavku su prikazani i opisani koraci provedbe analize, a dobiveni rezultati detaljnije su objašnjeni.

### 5.1.1. Odabir relevantnih baza podataka u sučelju SimaPro (engl. *Goal and Scope*)

Nakon pokretanja programskog alata SimaPro potrebno je napraviti novi projekt pritiskom na gumb „*New Project*“, nakon čega nam se otvara sučelje u kojem tom projektu dajemo ime. U ovom slučaju projekt je nazvan „Elektricni trimer Merox“. Nakon toga, program nas automatski upućuje na sučelje „*Goal and Scope*“, u kojem odabiremo gumb „*Libraries*“, te su tu vidljive sve baze podataka koje je moguće koristiti u analizi. Na Slici 5.8. prikazano je sučelje baza podataka, te je vidljivo koje su baze podataka odabrane za ovu analizu.



Wizards	Select	Name	Project manager
Wizards	<input checked="" type="checkbox"/>	Agri-footprint - economic allocation	Manager
<b>Goal and scope</b>	<input checked="" type="checkbox"/>	Agri-footprint - gross energy allocation	Manager
Description	<input checked="" type="checkbox"/>	Agri-footprint - mass allocation	Manager
<b>Libraries</b>	<input checked="" type="checkbox"/>	Ecoinvent 3 - allocation at point of substitution - system	Manager
<b>Inventory</b>	<input checked="" type="checkbox"/>	Ecoinvent 3 - allocation at point of substitution - unit	Manager
Processes	<input checked="" type="checkbox"/>	Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - system	Manager
Product stages	<input checked="" type="checkbox"/>	Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit	Manager
Waste types	<input type="checkbox"/>	Ecoinvent 3 - consequential - system	Manager
Parameters	<input type="checkbox"/>	Ecoinvent 3 - consequential - unit	Manager
<b>Impact assessment</b>	<input checked="" type="checkbox"/>	ELCD	Manager
Methods	<input checked="" type="checkbox"/>	EU & DK Input Output Database	Manager
Calculation setups	<input checked="" type="checkbox"/>	Industry data 2.0	Manager
	<input checked="" type="checkbox"/>	Methods	Manager
	<input checked="" type="checkbox"/>	Swiss Input Output Database	Manager
	<input checked="" type="checkbox"/>	USLCI	Manager

Sl. 5.8. Prikaz dijela sučelja programskog alata za odabir baza podataka

Nakon što su odabrane baze podataka koje će biti korištene, prelazimo na „*Inventory*“ sučelje, u kojem se vrši proces unosa prethodno prikupljenih podataka o električnom trimeru u za to prigodno sučelje.

### 5.1.2. Unos podataka u sučelje SimaPro (engl. *Inventory*)

Kao što je prethodno spomenuto, nakon odabira baza podataka u „*Goal and Scope*“ sučelju, analiza se nastavlja u sučelju „*Inventory*“. U ovom koraku provodi se unos prikupljenih podataka u jedno od sučelja. Ponuđena sučelja su procesi (engl. „*Processes*“), faze proizvoda (engl. „*Product Stages*“), vrste otpada (engl. „*Waste types*“) i parametri (engl. „*Parameters*“). Sučelja su također vidljiva na slici 5.8. U ovom slučaju, bilo je potrebno dodati svaki materijal u bazu podataka, te odabrati odgovarajući tehnološki postupak obrade za svaki pojedini materijal iz već

postojeće baze podataka u sučelju „Processes“, te će se ti procesi koristiti u daljnjim koracima analize.

NexusDB@Im.etfos.hr\Default\Professional; Elektricni trimer Merox - [Edit material process 'Celik']

File Edit Calculate Tools Window Help

Documentation **Input/output** Parameters System description

Products						
Outputs to technosphere: Products and co-products	Amount	Unit	Quantity	Allocation	Waste type	
Celik	0,2598	kg	Mass	100 %	not defined	
Add						
Outputs to technosphere: Avoided products	Amount	Unit	Distribution	SD2 or 2SD	Min	
Add						
Inputs						
Inputs from nature	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD2 or 2SD	Min
Add						
Inputs from technosphere: materials/fuels	Amount	Unit	Distribution	SD2 or 2SD	Min	
Add						
Inputs from technosphere: electricity/heat	Amount	Unit	Distribution	SD2 or 2SD	Min	
Steel removed by turning, average, computer numerical controlled {GLO}	0,0748	kg	Undefined			
Wire drawing, steel {GLO} market for   APOS, S	0,00868	kg	Undefined			
Impact extrusion of steel, hot, 1 strokes {GLO} market for   APOS, S	0,06875	kg	Undefined			
Sheet rolling, steel {GLO} market for   APOS, S	0,04759	kg	Undefined			
Metal working, average for steel product manufacturing {GLO} market for	0,05998	kg	Undefined			
Add						

Sl. 5.9. Primjer unosa materijala i tehnoloških postupaka obrade u sučelje

Na slici 5.9. prikazan je primjer unosa čelika u bazu podataka u sučelju „Processes“. Budući da je trimer imao čelične dijelove za koje su korišteni različiti tehnološki postupci obrade, unesena je ukupna masa čelika sadržana u trimeru, te je onda ta masa raspoređena kroz pojedine tehnološke postupke obrade, kao što su npr. tokarenje kada su u pitanju vijci i matice, ili pak provlačenje žice kada su u pitanju opruge. Na isti način uneseni su podaci i tehnološki postupci obrade za ostale materijale prikazane u tablici 5.2.. Nadalje, u sučelju „Product stages“, objedinjeni su svi materijali koji su učitani u prethodnom koraku, kao i njihove mase (Sl. 5.10.). Ovaj korak nazvan je „Elektricni trimer Merox – proizvodnja“ i igra veoma bitnu ulogu u procesu LCA analize koristeći programski alat SimaPro jer će informacije koje su učitane u ovom koraku utjecati na sve iduće korake analize. U sučelju „Waste types“ moguće je unijeti različite metode odlaganja proizvoda ili njegovih dijelova, te metode transporta proizvoda ili njegovih dijelova do mjesta odlaganja, dok je u sučelju „Parameters“ moguće unijeti dodatne parametre koji bi mogli biti korisni za analizu.

NexusDB@Im.etfos.hr\Default\Professional; Elektricni trimer Merox - [Edit assembly 'Elektricni trimer Me

File Edit Calculate Tools Window Help

Input/output Parameters

Name	Status	Comment
Elektricni trimer Merox - proizvodnja	None	

Materials/Assemblies	Amount	Unit	Distribution
Aluminij	263,60	g	Undefined
Bakar	93,02	g	Undefined
Celik	259,80	g	Undefined
Elektrotehnicki celik	27,08	g	Undefined
Grafit	8,00	g	Undefined
Li - Ion baterija	207,00	g	Undefined
Magnet	86,27	g	Undefined
Polimer - PC	110,17	g	Undefined
Polimer - ABS	1116,87	g	Undefined

Add

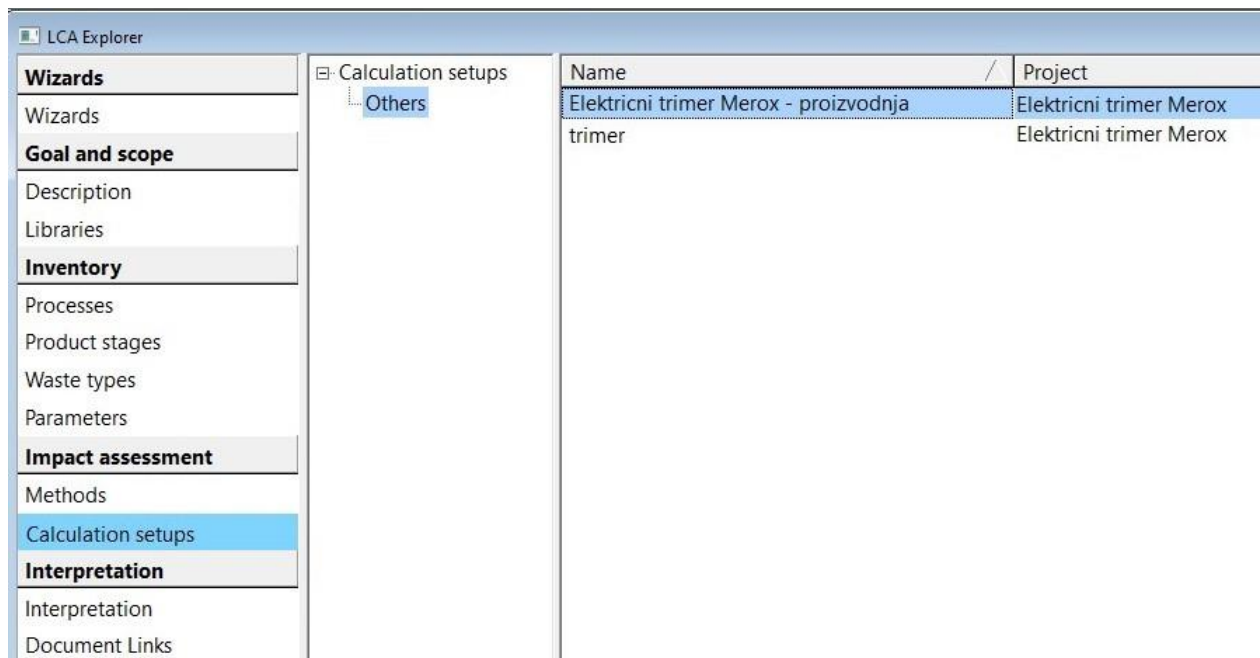
Sl. 5.10. Udio pojedinih materijala učitani u SimaPro sučelje

Nakon što je definiran cilj i opseg analize, te je obavljen unos svih relevantnih podataka u programsko sučelje SimaPro, moguće je pokrenuti analizu, a to je moguće učiniti u sučelju „*Impact assessment*“ → „*Calculation setups*“.

### 5.1.3. Pokretanje izračuna za određivanje utjecaja na okoliš (engl. *Impact Assessment*)

U sučelju „*Calculation setups*“ klikom na gumb „*New*“ moguće je kreirati nove postavke za izračune. Tako su kreirana dva seta postavki: jedan set postavki vezan uz proizvodnju, čiji rezultati predstavljaju utjecaj pojedinih materijala od kojih je trimer izrađen, te drugi, u kojem su uspoređene sve životne faze proizvoda, te je prikazan i njihov utjecaj na okoliš. Faze koje su promatrane su: proizvodnja trimera, uporaba trimera, odlaganje trimera i ponovna uporaba reciklata. Sukladno tome, u sučelju „*Calculation setups*“ imamo dvije stavke: jedna koja je

nazvana po prvoj životnoj fazi trimera “Elektricni trimer Merox – proizvodnja”, koja sadrži sve materijale i njihove proizvodne procese prethodno unesene u programski alat, te druga koja je nazvana “trimer”, koja sadrži sve životne faze koje su kreirane (proizvodnja trimera, uporaba trimera, odlaganje trimera i ponovna uporaba reciklata) (Slika 5.11.).

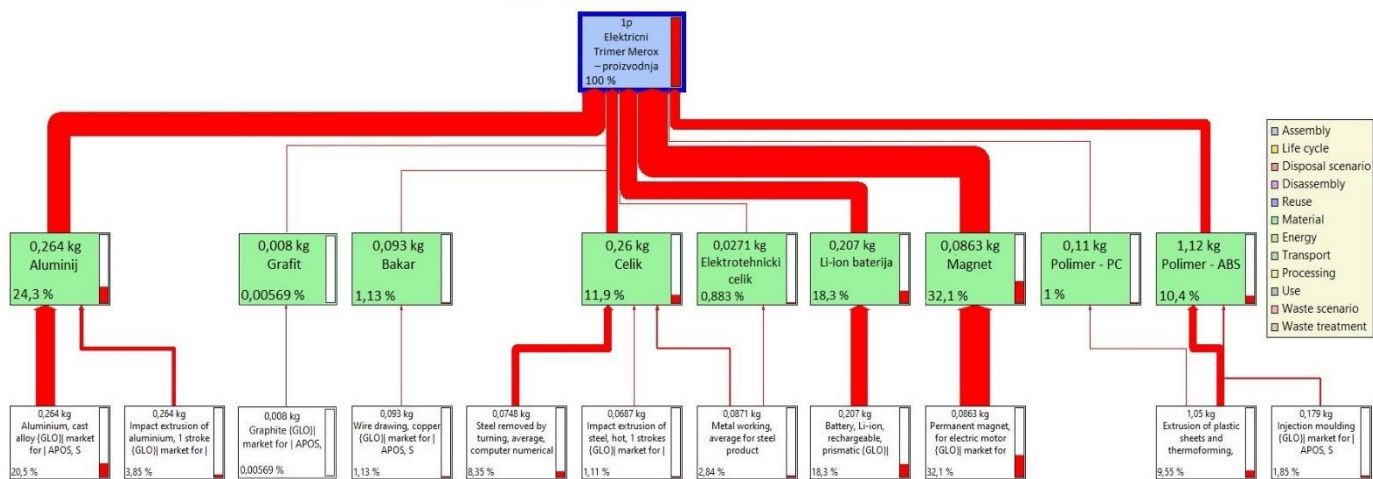


Sl. 5.11. Sučelje „Calculation setups“ i kreirani setovi postavki za izračun

#### 5.1.4. Interpretacija dobivenog izračuna (engl. *Interpretation*)

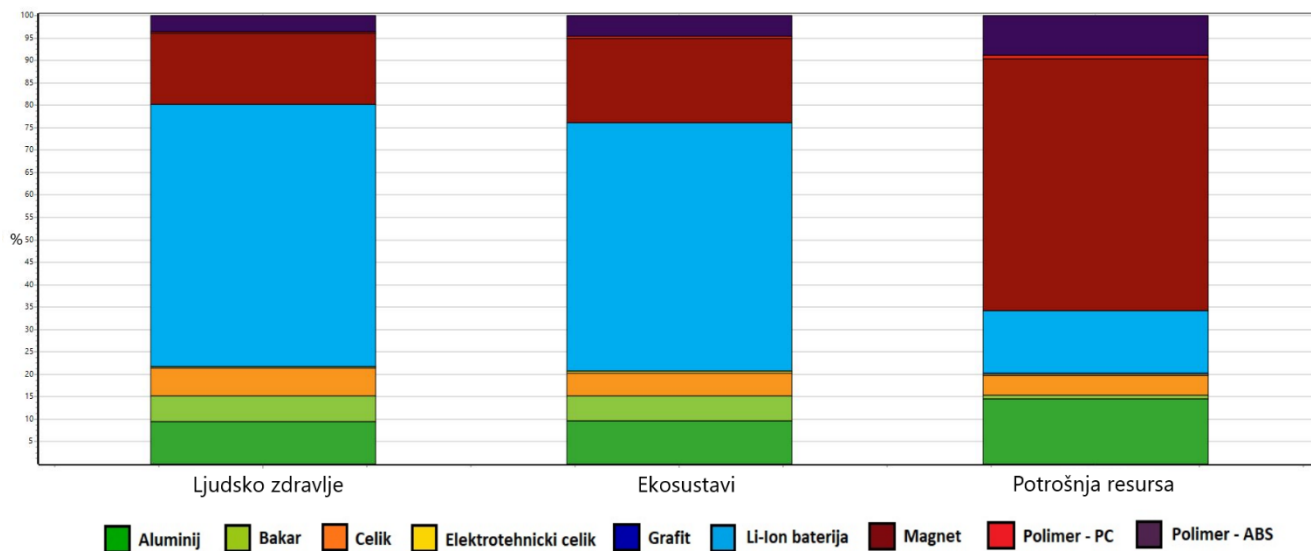
Duplim klikom na set postavki i pritiskom na gumb „Calculate“, moguće je pokrenuti izračun. Prvo će biti promatran set postavki „Elektricni trimer Merox – proizvodnja“. Nakon što je izračun obavljen, prikazuje se nekoliko grafova koje je moguće analizirati. Prvi promatrani graf je graf stabla procesa proizvodnje (Slika 5.12.). U njemu je prikazan svaki pojedini materijal od kojeg je izrađen trimer i moguće je vidjeti njihovu masu. Nadalje, za svaki materijal prikazani su tehnološki postupci izrade, te je vidljivo kako je masa tog materijala raspoređena po različitim tehnološkim postupcima. Debljina crvene strelice predstavlja u kojoj mjeri pojedini materijal ili neki tehnološki postupak izrade opterećuju okoliš, tako da veća debljina predstavlja veće opterećenje. Tako je moguće vidjeti da magnet, iako nema veliku masu, ima najveći utjecaj na okoliš od svih materijala, dok polimer – ABS, iako ima najveću masu, ima oko tri puta manji utjecaj na okoliš od npr. magnetu električnog motora.





Sl. 5.12. Stablo procesa

Iduci graf koji je moguće vidjeti je nešto opširniji od grafa stabla procesa. U njemu je, pored količine opterećenja nekog materijala na okoliš predstavljeno i na koje područje moguće štete i u kojoj mjeri svaki materijal ima utjecaj (Slika 5.13.). Kao što je ranije spomenuto, tri promatrana područja štete kroz cijelu LCA analizu su ljudsko zdravlje (engl. *Human Health*), ekosustav (engl. *Ecosystems*) i potrošnja resursa (engl. *Resources*).



Sl. 5.13. Utjecaj pojedinih materijala na tri područja moguće štete

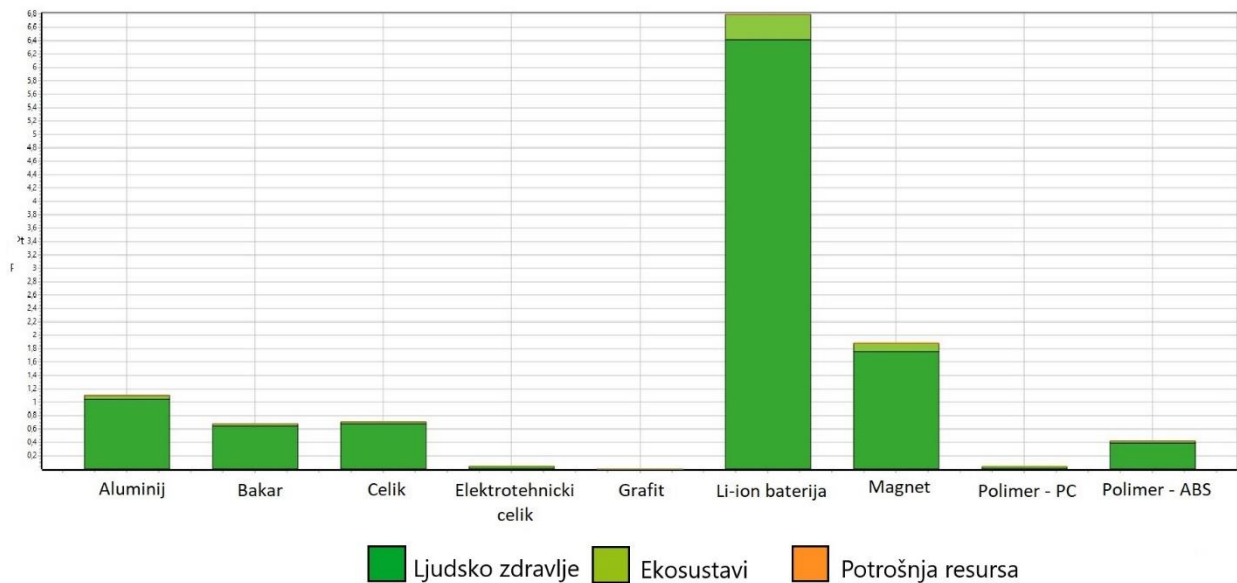
Svijetloplava boja koja predstavlja Li – ion bateriju je najzastupljenija na prva dva dijela grafa (ljudsko zdravlje i ekosustav), dok je na trećem dijelu zastupljena znatno manje. Naime, Li – ion baterije mogu biti veoma štetne ljudskom zdravlju ako ih se odloži na pogrešan način, ili uopće ne odloži. Takve baterije poznate su po tome što u sebi sadrže toksične materijale kao što su litij,

kobalt i olovo, a kontakt čovjeka sa nekim od ovih materijala bi mogao dovesti do ozbiljnih zdravstvenih posljedica. Također, baterije su dosta nepovoljne po ekosustav i smatraju se toksičnim otpadom zbog materijala od kojih su izrađene i koje nije moguće reciklirati, te na taj način dodatno opterećuju okoliš. Iako baterija najviše opterećuje okoliš u područjima ljudskog zdravlja i ekosustava, u području potrošnje resursa to nije slučaj. Glavni materijal od kojeg je Li – ion baterija izrađena je litij, kojeg trenutno ima dovoljno i u zalihama i u prirodi, te kojeg za izradu baterije nije potrebno puno. Međutim, porastom populacije i razvojem nove tehnologije, kao i postepenog prelaska sa fosilnih goriva na električnu energiju, raste i potražnja za litijem, tako da postoji mogućnost da u budućnosti proizvodnja ovakvih baterija puno više opterećuje okoliš, ukoliko se ne nađe neka alternativa. Nadalje, tamnocrvenom bojom na grafu označen je magnet koji znatno manje, no ipak u dosta velikoj mjeri opterećuje okoliš. Od tri područja moguće štete magnet najmanje utječe na ljudsko zdravlje jer izlaganje magnetskom polju, čak i na duži period, nema neke dugotrajne posljedice. Magneti opterećuju ekosustav nešto više od ljudskog zdravlja jer su napravljeni tako da ih je praktički moguće koristiti zauvijek, tako da određeni dio pogrešno odloženih magneta može završiti na odlagalištu otpada zajedno sa proizvodom u kojem se nalazio. Proizvodnja magneta utječe na potrošnju resursa skoro trostruko više nego na ljudsko zdravlje ili na ekosustave. Razlog tome je što se magneti izrađuju od različitih metala koje je lako magnetizirati (željezo, kobalt, nikl), kao i od legura određenih rijetkih zemnih metala. Također, poznato je i da metali nisu obnovljivi resursi pa će i za njih, kao i za litij, biti potrebno u budućnosti naći alternativu. Aluminiij (označen zelenom bojom) opterećuje okoliš na sličan način kao i magnet, no u znatno manjim količinama. Najmanje utječe na ljudsko zdravlje, no često i dugotrajno izlaganje velikim količinama aluminiija, kao i udisanje čestica aluminiija ipak mogu imati određene zdravstvene posljedice. U nešto većoj mjeri utječe na ekosustav zbog načina na koji se aluminiij vadi iz zemlje, pa je često potrebno raskrčiti velike površine šuma kako bi se napravio rudnik. Također, nakon vađenja iz zemlje, postrojenja za preradu aluminiija mogu imati štetne emisije u zrak. Kao i ostali metali, spada u neobnovljive resurse, te je za vađenje i preradu aluminiija potrebno uložiti dosta električne energije, što rezultira većom potrošnjom resursa. Nadalje, ako obratimo pažnju na polimer – ABS (označen ljubičastom bojom), koji je ujedno i najzastupljeniji materijal u promatranom električnom trimeru, sa masom od 1.12kg, moguće je primijetiti da opterećuje okoliš kroz sva tri područja moguće štete u puno manjoj mjeri od ranije spomenutih materijala, čija je masa znatno manja od polimera – ABS. Razlog tome je taj što je polimer – ABS tip plastomera koji ne gori kada se izlaže visokim temperaturama pa tako ne uzrokuje emisije štetnih plinova ili drugih kemijskih sastava, nego ga je zagrijavanjem moguće

otopiti i ponovo oblikovati u novi proizvod, čineći ga na taj način skoro 100% reciklabilnim materijalom.

Kao što je spomenuto u poglavlju 3, rezultate LCA moguće je prikazati u obliku milibodova odnosno bodova, koji olakšavaju usporedbu dvaju proizvoda, materijala ili proizvodnih procesa.

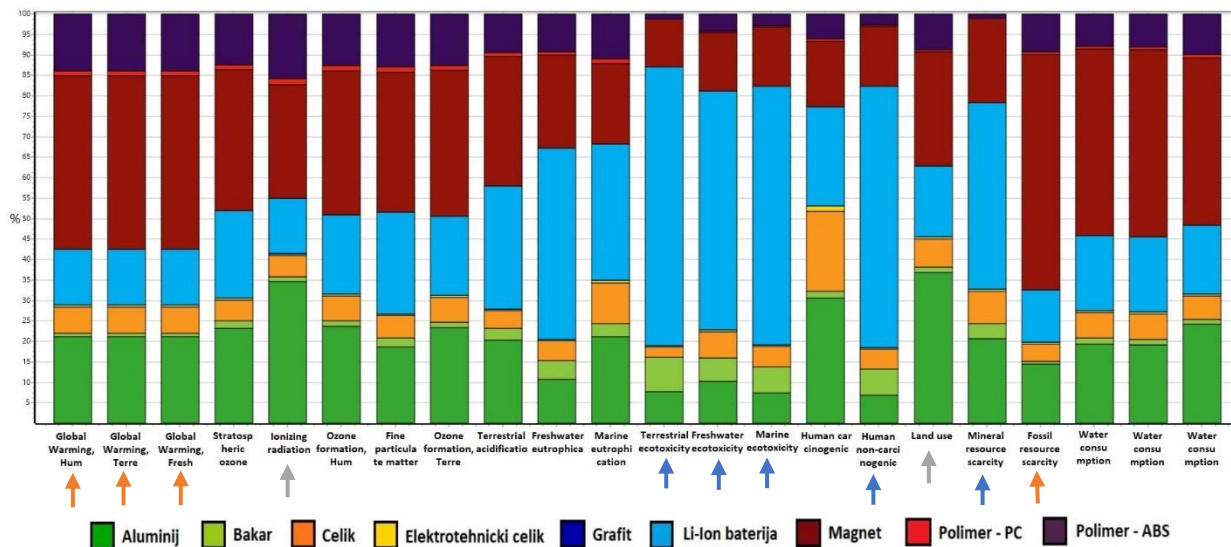
Tako je na grafu na slici 5.14. prikazana usporedba svih materijala od kojih je načinjen trimer kroz tri područja moguće štete, a vrijednosti usporedbe izražene su u bodovima (*Pt*).



Sl. 5.14. Prikaz bodova eko indikatora pojedinih materijala u proizvodnji

Na prvi pogled je iz grafa odmah vidljivo da svi materijali najveći utjecaj imaju na ljudsko zdravlje, te znatno manje na ekosustav i skoro zanemarivo malo na potrošnju resursa. Budući da se radi o „izoliranom slučaju“, odnosno samo o jednom trimeru, normalno je da je utjecaj svih materijala i njihovih proizvodnih procesa dosta manji od utjecaja na ljudsko zdravlje. Ono što je najviše vidljivo je utjecaj Li – ion baterije na ljudsko zdravlje, kao i na ekosustav zbog velike toksičnosti materijala od kojih je izrađena, kao i zbog nepouzdanog ili pogrešnog načina odlaganja.

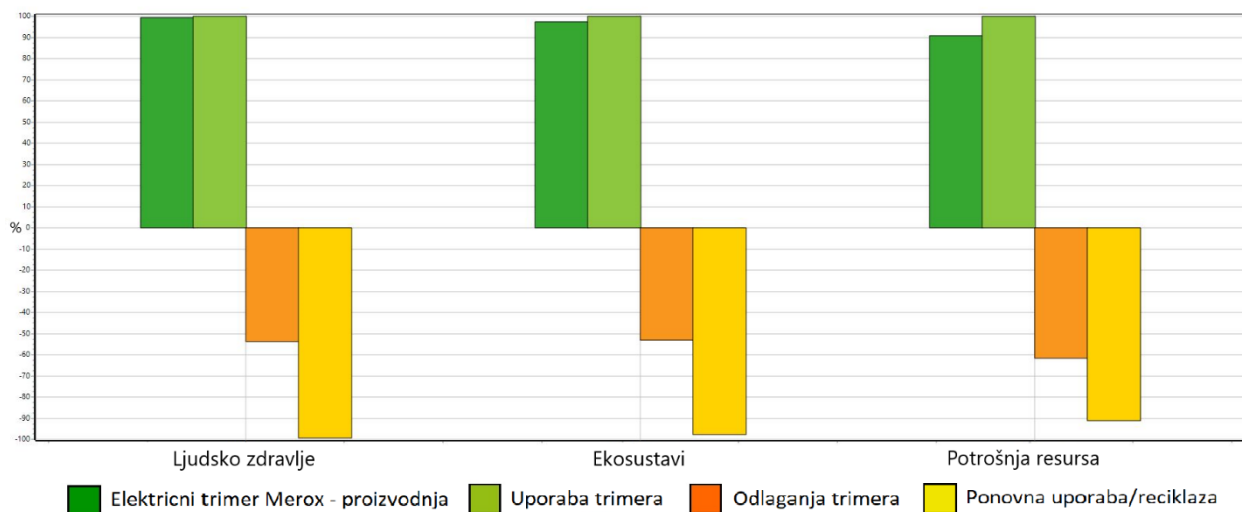
Nakon što su analizirana tri općenita područja moguće štete, iz provedenog izračuna također je moguće pobliže analizirati utjecaj svakog materijala na pojedine kategorije ekosustava, što je vidljivo na slici 5.15..



Sl. 5.15. Analiza izloženosti i posljedica, te materijala na pojedinu kategoriju ekosustava

Ovaj graf pruža puno detaljniji prikaz utjecaja materijala na specifične kategorije ekosustava i kao takav inženjerima može biti veoma koristan kod donošenja odluke o odabiru materijala ili proizvodnog procesa. Kao i kod prethodnih grafova, moguće je vidjeti da Li – ion baterija u prosjeku ima najveći utjecaj kroz sve kategorije, a ponajviše u kategorijama zemne i vodene ekotoksičnosti, kao i da predstavlja zdravstveni rizik od nekih nekancerogenih bolesti (plave strelice na slici). Također, u predjelu potrošnje resursa, proizvodnja Li – ion baterije može predstavljati rizik od nestašice mineralnih resursa (engl. *Mineral resource scarcity*). Idući materijal koji je dominantan na grafu je magnet koji globalnom zatopljenju doprinosi više od svih ostalih materijala, a također ponajviše doprinosi nestašici fosilnih goriva (narančaste strelice). Magnet sam po sebi nema energiju, no ima snagu, tako da je magnetizam veoma koristan način za pretvaranje jednog oblika energije u drugi. Do 99% snage dobivene od fosilnih goriva dolazi iz sustava koji koriste magnetizam u procesu pretvorbe energije, što objašnjava utjecaj magneta na potrošnju fosilnih goriva, kao i na globalno zatopljenje zbog ispuštanja štetnih plinova u atmosferu tijekom procesa pretvorbe. Dalje je moguće vidjeti da je aluminij u prosjeku jednako zastupljen kroz kategorije globalnog zatopljenja zbog načina proizvodnje koji uzrokuje ispuštanje štetnih plinova u atmosferu. Aluminij se također dosta koristi u zaštiti od ionizirajućeg zračenja (engl. *Ionizing radiation*, sive strelice), pa je u toj kategoriji najdominantniji. Iduća kategorija u kojoj je aluminij najzastupljeniji je iskorištavanje zemljišta (engl. *Land use*). Razlog tome je što u procesu vađenja rude aluminija iz zemlje potrebno zauzeti velike količine prostora za postavljanje postrojenja te na taj način dolazi do ugrožavanja biljnih i životinjskih zajednica.

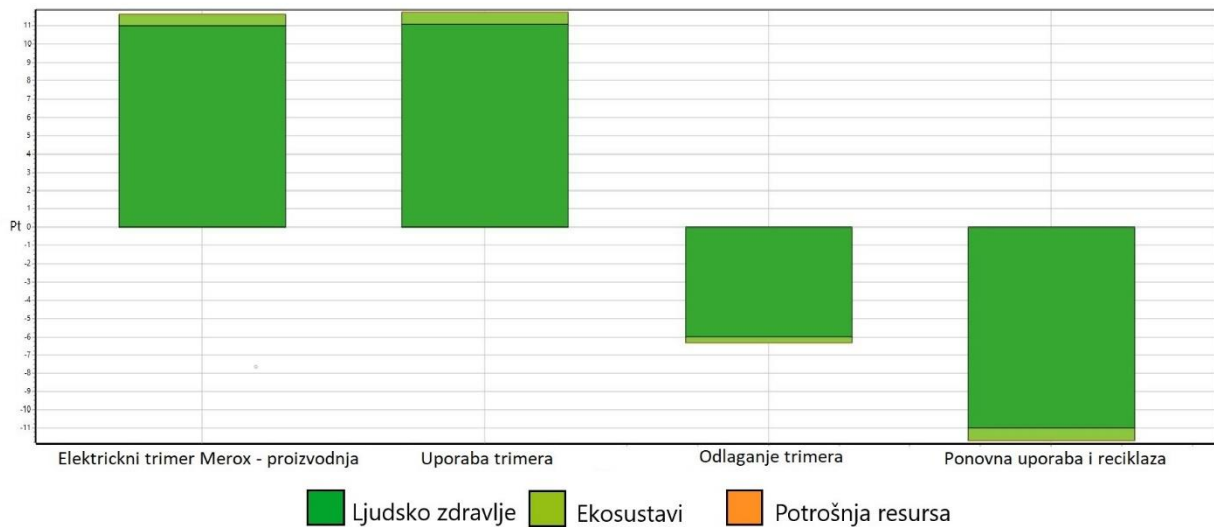
Nakon izračuna i analize utjecaja pojedinih materijala i njihovih proizvodnih procesa na okoliš, provedena je usporedba životnih faza električnog trimera. Na isti način kao i prethodni izračun, u sučelju programskog alata SimaPro potrebno je dvaput kliknuti na set postavki pod imenom „trimer“, te nakon toga na gumb „Calculate“. U ovom slučaju nije moguće dobiti stablo procesa nego je moguće provesti samo usporedbu različitih životnih faza. Promatrane životne faze su proizvodnja, uporaba i odlaganje trimera, te ponovna uporaba reciklata. Sve četiri životne faze promatrane su, kao i kao u prethodnom izračunu, kroz tri područja moguće štete i moguće ih je izraziti u obliku postotaka ili u obliku bodova.



Sl. 5.16. Usporedba faza životnog ciklusa trimera kroz tri područja moguće štete

U grafu na slici 5.9. zelene (pozitivne) vrijednosti predstavljaju one vrijednosti koje opterećuju okoliš, dok narančaste (negativne) doprinose olakšanju tog opterećenja. Na prvi pogled se može primijetiti da faze proizvodnje i uporabe promatranog električnog trimera imaju skoro maksimalne vrijednosti kroz sva tri područja moguće štete jer u najvećoj mjeri opterećuju okoliš. Dio faze odlaganja trimera uključuje i transport rastavljenih dijelova trimera do lokacije pogodne za njihovo odlaganje, te opterećenje okoliša koje to odlaganje donosi, tako da je smanjenje opterećenja u fazi odlaganja trimera nešto manje od faze ponovne uporabe reciklata. Budući da je vrijednost ukupne recikličnosti promatranog električnog trimera oko 90%, ponovna uporaba reciklata ima velik utjecaj na smanjenje opterećenja okoliša kroz sve tri faze. Smanjenje opterećenja na okoliš je nešto manje u području uporabe resursa i kada je u pitanju faza ponovne uporabe reciklata jer u trimeru postoje materijali poput baterije, magneta i aluminijskog produžetka ručke koji su izrađeni od neobnovljivih resursa i jer ih je teško ili nemoguće reciklirati.

Usporedbu različitih životnih faza promatranog trimera moguće je izraziti i u obliku bodova, što je prikazano na slici 5.10..



Sl. 5.17. Usporedba bodova eko indikatora u životnim fazama trimera

Kao što je ranije spomenuto, prikaz u obliku bodova omogućava lakšu usporedbu materijala, procesa, i u ovom slučaju, životnih faza jer je to pojednostavljeni oblik rezultata u kojem jedinica mjere nije presudna. U grafu na slici 5.10. moguće je primijetiti da je kroz sve životne faze najzastupljenija kategorija ljudskog zdravlja a znatno manje kategorija ekosustava, dok je kategoriju uporabe resursa skoro nemoguće vidjeti na grafu. Faze proizvodnje i uporabe imaju približno jednaku vrijednost kao faza ponovne uporabe reciklata kroz sva tri područja moguće štete samo sa suprotnim predznakom, što znači da ove dvije faze pojedinačno povećavaju opterećenje okoliša u skoro istoj mjeri u kojoj ga ponovna uporaba reciklata smanjuje. Razlog tome je visoki stupanj ukupne recikličnosti trimera (oko 90%).

## 6. ZAKLJUČAK

U ovom završnom radu prvo je opisana metoda cjelovitog bilansiranja (LCA) kroz njenu povijest i faze kroz koje se ona provodi, te su opisani principi koji se koriste u sklopu analize i koji će kasnije biti korišteni za izračune i detaljniju analizu utjecaja različitih materijala i njihovih proizvodnih procesa, kao i za usporedbu različitih životnih faza promatranog električnog trimera. Također, spomenuti su i objašnjeni pojmovi eko – indikatora (*Eco-Indicator 95* i *Eco-Indicator 99*). Pored povijesti LCA, opisane su i faze LCA, koje će kasnije postati jedne od glavnih faktora bez kojih analiza ne bi mogla biti potpuna jer točnost i preciznost podataka unesenih u prvoj fazi utječe na rezultate svih ostalih faza. Nadalje, te metode pobliže su definirane i teoretski objašnjene u potpoglavlju 2.2., a u potpoglavlju 5.1. su te metode još detaljnije predstavljene kroz praktični primjer, odnosno kroz analizu promatranog električnog trimera u programskom alatu SimaPro. Pomoću spomenutog programskog alata dobiveni su rezultati koji ukazuju na štetnost svakog pojedinog materijala u izradi električnog trimera, a nakon toga bilo je moguće vidjeti na koji način svaki od tih materijala opterećuje okoliš kroz tri područja moguće štete.

Nakon obavljenih izračuna kroz dva seta postavki (“Elektricni trimer Merox – proizvodnja” i “trimer”), bilo je moguće vidjeti da je upravo baterija ta koja donosi najviše lošeg utjecaja kroz sva tri područja moguće štete, što je pobliže moguće vidjeti na slici 5.8.. Nakon toga, sljedeći materijal koji je bio dominantan kroz sve prikazane grafove bio je magnet zbog svog načina proizvodnje, u većini slučajeva pogrešnog načina odlaganja i činjenice da bi u budućnosti moglo doći do nestašice materijala od kojih se izrađuju magneti koji se trenutno nalaze u skoro svakom uređaju u kućanstvu, no budući da je odlaganje magneta veoma loše regulirano, veliki dio magneta jednostavno završi u nekom odlagalištu otpada zajedno sa proizvodom koji je odložen na tom mjestu, pa su tako male šanse da dođe do ponovne uporabe tog magneta i na taj način smanji potražnja za novim magnetima, što bi u dužem periodu smanjilo opterećenje na okoliš. Iako je jedan magnet u teoriji moguće koristiti beskonačno mnogo puta, u većini slučajeva jedan prosječan korisnik nekog proizvoda koji sadrži magnet se najvjerojatnije neće sjetiti da taj magnet odvoji i pravilno odloži kada korišteni proizvod dođe do kraja faze uporabe.

Također, aluminij igra dosta veliku ulogu u opterećenju okoliša kroz sva područja moguće štete. Iako je aluminij veoma koristan materijal koji ima veoma širok spektar uporabe, u ovom slučaju električnog trimera bilo bi moguće smanjiti korištenje aluminijskih materijala tako što bi se on zamijenio nekom vrstom plastomera koja je reciklabilna skoro u potpunosti i koja u vrlo maloj količini doprinosi opterećenju ekosustava, potrošnji resursa i oštećenju ljudskog zdravlja.

Nažalost, trenutno nisu pronađene učinkovite alternative za Li – ion baterije kao ni za magnet, a te komponente su ključne za ispravan rad električnog trimera. Razvojem tehnologije i imajući na umu porast populacije i sve veću potražnju za komponentama ovog tipa, potrošnja neobnovljivih resursa sve više i više raste pa se tako crpe i prirodni resursi a i zalihe tih potrebnih materijala, što bi u budućnosti moglo dovesti do nestašice. Također, sve veći i veći postepeni prelazak na električnu energiju u prijevoznim sredstvima će u neku ruku smanjiti ispuštanje štetnih plinova u atmosferu i na taj način smanjiti opterećenje ekosustava, dok će s druge strane uvelike opteretiti potrošnju resursa i prikupljenih rezervi, tako da je vrlo lako moguće da će u budućnosti doći do nestašice jednog od mnogih esencijalnih materijala za procese proizvodnje ili obrade materijala, tako da je ključno naći način za alternative kod proizvodnje ovakvih materijala, odnosno njihovih replika koji postižu iste rezultate a opterećuju okoliš i neobnovljive resurse dosta manje.



## LITERATURA

- [1] Ashby, M.; Materials and environment, Oxford OX2, 2009
- [2] Life Cycle Assessment Methodology <https://www.e-education.psu.edu/eme807/node/690>, pristup ostvaren 20.6.2022.
- [3] Life Cycle Assessment: Principles and Practice [Life Cycle Assessment: Principles and Practice, EPA/600/R-06/060](https://www.epa.gov/600/r-06/060), 2006., pristup ostvaren 21.6.2022.
- [4] Life-Cycle Energy Analysis <https://michaelminn.net/energy/life-cycle-analysis/>, pristup ostvaren 21.6.2022.
- [5] Life Cycle Assessment History <https://www.alcas.asn.au/history>, pristup ostvaren 21.6.2022.
- [6] ILCD handbook, European Commission, Joint Research Centre
- [7] Birgit Grahl, Walter Klöpffer, Life Cycle Assessment (LCA): A Guide to Best Practice
- [8] The Eco-indicator 95 <https://pre-sustainability.com/legacy/download/EI95FinalReport.pdf>, pristup ostvaren 25.6.2022.
- [9] Description of the Eco-Indicator 95 Method <https://gabi.sphera.com/support/gabi/gabi-5-lcia-documentation/life-cycle-impact-assessment-lcia-methods/eco-indicator-95/>, pristup ostvaren 25.6.2022.
- [10] Mark Jacob Goedkoop, The Eco-Indicator 99: A Damage Oriented Method for Life Cycle Impact Assessment
- [11] Eco-Indicator – an overview <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/eco-indicator>, pristup ostvaren 1.7.2022.
- [12] Eco-indicator 99 Manual for Designers [https://pre-sustainability.com/legacy/download/EI99\\_Manual.pdf](https://pre-sustainability.com/legacy/download/EI99_Manual.pdf), pristup ostvaren 1.7.2022.
- [13] About SimaPro <https://simapro.com/about/>, pristup ostvaren 15.7.2022.
- [14] Business user – SimaPro licence <https://simapro.com/licences/business-user/>, pristup ostvaren 15.7.2022.
- [15] Power user – SimaPro licence <https://simapro.com/licences/power-user/>, pristup ostvaren 15.7.2022.

- [16] Expert user – SimaPro licence <https://simapro.com/licences/expert-user/>, pristup ostvaren 15.7.2022.
- [17] SimaPro for Education <https://simapro.com/education/>, pristup ostvaren 15.7.2022.
- [18] SimaPro PhD <https://simapro.com/licences/phd/>, pristup ostvaren 15.7.2022.
- [19] SimaPro Classroom <https://simapro.com/licences/classroom/>, pristup ostvaren 15.7.2022.
- [20] SimaPro Faculty <https://simapro.com/licences/faculty/>, pristup ostvaren 15.7.2022.

## SAŽETAK

U ovom završnom radu provedena je LCA analiza (engl. *Life Cycle Assessment*) na primjeru električnog trimera Merox MX-CL-18, koristeći programski alat SimaPro. U teorijskom dijelu rada navedene su općenite informacije o LCA analizi i njenoj povijesti. Nakon toga detaljno su opisane faze provođenja analize, čija se primjena vidi i u praktičnom dijelu rada. Također, opisan je pojam eko-indikatora te su prikazana tri područja moguće štete, te su ti pojmovi također bitan dio praktičnog dijela. Za kraj teorijskog dijela i kao uvod u praktični, opisan je korišteni programski alat SimaPro i sve njegove različite verzije. U praktičnom dijelu je u programskom alatu SimaPro provedena LCA analiza na primjeru spomenutog trimera., te je bilo vidljivo kako svaki materijal od kojeg je izrađen trimer utječe na tri područja moguće štete. Nakon toga međusobno su uspoređene četiri životne faze promatranog trimera (proizvodnja, uporaba, odlaganje i ponovna uporaba reciklata) i bilo je moguće vidjeti kako te četiri faze utječu na tri područja moguće štete. Opisani su svi koraci analize, od prikupljanja podataka o trimeru, preko unosa tih podataka u sučelje programskog alata pa sve do interpretacije rezultata izračuna, odnosno rezultatnih grafova.

KLJUČNE RIJEČI: cjelovito bilansiranje, eko-indikatori, LCA, SimaPro

## SUMMARY

The analysis of the environmental impact of the electric trimmer Merox MX-CL-18 using the LCA methods and parameters has been described in this study. The analysis was done in the software called SimaPro. Theoretical part gave some general information about LCA and its history. After that, all phases of LCA have been described in more detail and those phases can later be seen in the practical part of the study. Furthermore, term “eco-indicator” was described, and three damage modules were shown that also play an important role in the practical part of the study. As the end of the theoretical part and as introduction to the practical one, SimaPro was described, along with all its different versions. In the practical part, LCA analysis was conducted on the example of the electric trimmer Merox MX-CL-18, using the mentioned software and it was shown how each of the materials contained in the trimmer affects the three damage modules. After that, four life cycle stages were compared (production, usage, disposal, and new use of the recycled parts) and it was shown how those four stages affect the three damage modules. Every step of the analysis was described, from collecting data about the trimmer and data entry, all the way to the interpretation of the results and resulting graphs.

KEYWORDS: eco-indicators, Life-Cycle Analysis, Life-Cycle Assessment, SimaPro