

# Utjecaj životnog vijeka proizvoda na okoliš

---

Ćorluka, Željko

Undergraduate thesis / Završni rad

2010

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:574879>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-07**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Doc. dr.sc. Mario Štorga

Komentor:

Ida Midžić, mag.ing. mech.

Željko Čorluka

ZAGREB, 2010.

### **Sažetak rada:**

Tema ovog rada je procjena utjecaja životnog vijeka proizvoda na okoliš. Analiza utjecaja proizvoda na okoliš kroz sve faze životnog ciklusa provedena je na dva različita načina, a rezultati obje analiza su potom uspoređeni.

Jedna analiza je provedena pomoću računalnog programskog paketa CES Edu Pack tvrtke Granta Design Limited, a druga analiza je provedena ručno po metodi Eco Indicator 99. Objе metode služe za ocjenjivanje štetnog utjecaja proizvoda na okoliš.

Proizvod koji se analizira je pedalni sklop za osobne automobile tvrtke Cimos d.d.

Analizirane su dvije konstrukcijske izvedbe pedalnog sklopa te su rezultati pokazali koja je izvedba povoljnija za okoliš. Jedna izvedba koristi više polimernih materijala, dok je druga izvedba gotovo u potpunosti izvedena od čelika.

**SADRŽAJ**

POPIS SLIKA I TABLICA.....	4
1. UVOD.....	6
2. UTJECAJI NA OKOLIŠ.....	7
2.1. ENERGIJA.....	8
2.2. MATRIJALI.....	10
2.3. VODA.....	11
2.4. CO <sub>2</sub> .....	12
3. ŽIVOTNI CIKLUS PROIZVODA.....	14
3.1. KRAJ ŽIVOTA PROIZVODA.....	15
3.2. ŠTO NAPRAVITI NA KRAJU PRVOG ŽIVOTNOG CIKLUSA?.....	16
4. KONSTRUIRANJE ZA RECIKLABILNOST.....	19
5. PROCJENA UTJECAJA ŽIVOTNOG VIJEKA PROIZVODA NA OKOLIŠ (LCA)....	23
5.1. ŠTO JE LCA?.....	23
5.2. ZAŠTO KORISTITI LCA.....	24
5.3. OSNOVNA OBILJEŽJA I PRINCIPI LCA.....	25
5.4. GLAVNE FAZE ANALIZE I NJIHOVA METODIČKA STRUKTURA.....	29
5.4.1. CILJ I PREDMET LCA ANALIZE.....	32
5.4.2. INVENTAR ŽIVOTNOG CIKLUSA (LCI).....	33
5.4.3. OCJENJIVANJE UTJECAJA ŽIVOTNOG CIKLUSA (LCIA).....	34
5.4.4. INTERPRETACIJA ŽIVOTNOG CIKLUSA.....	35
6. CES EDUPACK 2009.....	37
6.1. ECO AUDIT TOOL.....	38
7. ECO INDICATOR 99.....	41
8. ZAKLJUČAK.....	42
9. LITERATURA.....	43

POPIS SLIKA I TABLICA:

Slika 1 Udio pojedinog izvora energije u ukupnoj potrošnji energije u svijetu [1]

Slika 2 Udio potrošnje ukupne energije u sektoru transporta, građevine, industrije [1]

Slika 3 23 najčešće upotrebljena materijala u industriji [1]

Slika 4 Prikaz utjecaja stakleničkog efekta [8]

Slika 5 Prikaz životnog ciklusa materijala [9]

Slika 6 Ključni aspekti prilikom konstruiranja automobila

Slika 7 Kretanje udjela recikliranja za prosječno osobno vozilo kao funkcija vremena

Slika 8 Ciljevi LCA metode u vezi sa trajno održivim razvojem

Slika 9 Sistemski model proizvoda za ocjenjivanje životnog ciklusa

Slika 10 Granice industrijskog sustava (prema SEAC)

Slika 11 Faze životnog ciklusa proizvoda sa jasnim granicama

Slika 12 Faze životnog ciklusa proizvoda koje se preklapaju

Slika 13 Faze analize LCA i njihove uzajamne zavisnosti

Slika 14 Primjer sistema proizvoda za analizu zaliha u toku životnog ciklusa

Slika 15 Unos podataka u CES Eco Audit tool

Tablica 1 Eko indikatori za izvedbu PS1 po fazama životnog ciklusa

Tablica 2 Eko indikatori za izvedbu PS2 po fazama životnog ciklusa

Izjavljujem da sam ovaj završni rad radio samostalno, uz pomoć vlastitog znanja i navedene literature.

ZAHVALA:

*Zahvaljujem mentoru, doc. dr. sc. Mariu Štorgi na savjetima, usmjeravaju i podršci tokom izrade završnog rada.*

*Također, zahvaljujem se tvrtki Cimos d.d. na pruženim informacijama i dokumentaciji te na velikodušnoj suradnji.*

## 1. UVOD

Okoliš i ljudska civilizacija su dva kompleksna sustava koji koegzistiraju i međusobno djeluju na Zemlji već tisućama godina. Posljedice koje proizlaze kada dva kompleksna sustava djeluju jedan na drugi teško su predvidive. Međutim, jedna posljedica, koja je sve očitija u posljednje vrijeme, je štetan utjecaj industrijske civilizacije na okoliš i ekosustav u kojem živimo i o kojem ovisimo. Neki utjecaji su evidentni već više od stoljeća i mnogi su uspješno spriječeni, no nekih utjecaja postajemo svjesni tek u zadnjih par godina, kao na primjer problem globalnog zatopljenja. Uništavajući okoliš i nepovratno iscrpljujući prirodne resurse i bogatstva nanosimo štetu sebi samima. Nažalost, često toga postanemo svjesni kada je već prekasno, ako i tada.

Svi štetni utjecaji koje je potaknula industrijalizacija čovječanstva posljedica su načina na koji koristimo materijale i energiju. Mnogi od nas nisu ni svjesni na koje sve načine može životni ciklus jednog proizvoda utjecati na okoliš. Mnogi od nas, kupujući neki proizvod u trgovini ne pomisle kako je taj proizvod nastao, odakle materijal za taj proizvod, koliko je energije utrošeno da se taj proizvod proizvede i, što je najbitnije, kakve je posljedice sve to ostavilo na okolinu u kojoj živimo. Ako želimo učiniti nešto da to spriječimo, prvo što moramo je razumijeti izvore, načine, pravila i posljedice pravilnog konstruiranja proizvoda s aspekta utjecaja na okoliš. Upravo je zadaća konstruktora da misli na sve to dok konstruira proizvod.

## 2. UTJECAJI NA OKOLIŠ

S ciljem što boljeg shvaćanja štetnog utjecaja ljudi i ljudskih djelatnosti na okoliš u ovom ćemo poglavlju brojčano prikazati utjecaje na okoliš kroz četiri najvažnija aspekta: energija, materijali, voda, CO<sub>2</sub>. Lakše je razumjeti neke utjecaje kada se prikažu brojkama.

Proizvodnja je posljednjih godina postala ovisna o konstantnom toku materijala i energije. U današnjem potrošačkom društvu neprekidan rast je nužan za održavanje bilo koje ekonomije. Ekonomija koja ne raste, stagnira, je „bolesna“ ekonomija. Rast može biti linearan, rastući stalnim omjerom, a može biti i eksponencijalan, rastući omjerom proporcionalnim trenutnoj veličini.

Kako raste svjetska populacija i kako je napredak tehnologije sve brži tako rastu i zahtjevi za sve većom količinom energije i materijala. Međutim, svi materijali se crpe iz prirode i neki od njih su brzo obnovljivi te nema bojazni da će ih nestati, no neki materijali se ne stvaraju tako brzo i lako i u prirodi ih ima samo u ograničenim količinama. Kada se iscrpe ti prirodni resursi ljudi će ostati bez materijala na kojima se danas temelje mnogi izumi i proizvodi. Da se to ne bi dogodilo potrebno je uskladiti potrošnju i potražnju za takvim materijalima, no što je još važnije potrebno je pronaći alternativu tim materijalima u nekim drugim materijalima. Jedno od rješenja je svakako recikliranje jer se njime konstantno radi s istom količinom materijala koja samo kruži u ciklusu jednog vijeka trajanja proizvoda. Recikliranje je posljednjih godina postalo sve zastupljenije, no još uvijek premalo u odnosu na količinu materijala koji se ne reciklira. O tome ćemo nešto reći u kasnijim poglavljima.



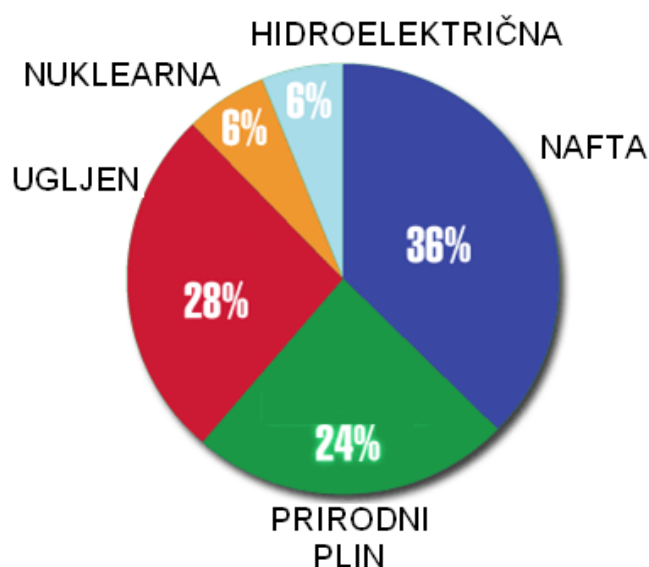
## 2.1. ENERGIJA

Energija je potrebna u svim fazama od stvaranja materijala, proizvodnje, korištenja proizvoda i zbrinjavanja proizvoda na kraju životnog ciklusa. Četiri su glavna izvora energije najzastupljenija u svim fazama:

- Sunce, koje je izvor više oblika iskorištavanja energije, kao na primjer: energija vjetra, valova, hidroenergija, solarna energija.
- Mjesec, glavni uzročnik fenomena plime i oseke
- Nuklearni raspad nestabilnih elemenata je jezgra svih nuklearnih elektrana
- Fosilna goriva (nafta, plin, ugljen) koja su zapravo sunčeva energija u fosiliziranom obliku

Svi nabrojani izvori su teoretski konačni, no vremenski period potreban za iscrpljivanje prva tri izvora je toliko velik da te izvore možemo smatrati beskonačnima.

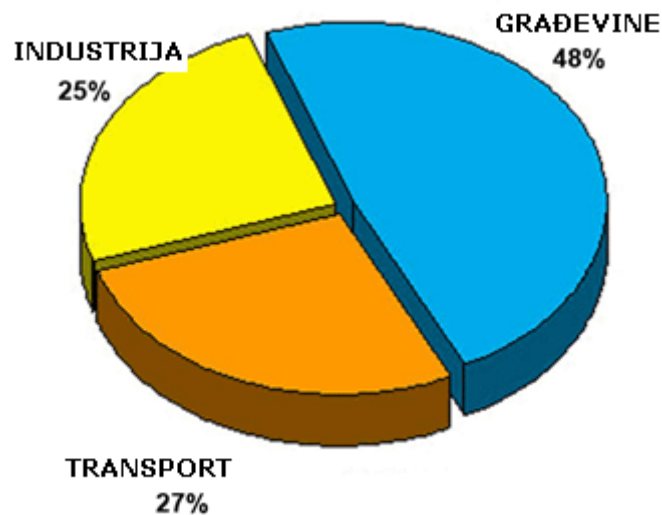
Na slici 1 vidimo udio pojedinog izvora energije u ukupnoj potrošnji energije u svijetu. Jasno je vidljivo da je udio fosilnih goriva kao izvora energije čak 88% što nam je dovoljan dokaz o apsurdnosti raspodjele i udjela izvora energije. Jedini, od četiri spomenuta, izvor energije koji se može u dogledno vrijeme iscrpiti je glavni izvor energije u svijetu. Tu sliku treba što prije promijeniti i početi se više oslanjati na obnovljive („neiscrpne“) izvore energije. [1]



Slika 1 Udio pojedinog izvora energije u ukupnoj potrošnji energije u svijetu [1]

Za što se energija koristi? Energija se koristi za sve što ljudi čine, koriste, bez energije nebi postojao svijet kakvog znamo. Po definiciji se energija ne može „potrošiti“ već se samo može pretvarati iz jednog oblika u drugi. Prema tome, nebi trebali brinuti za „potrošnju“ energije jer se ne može „potrošiti“, no problem nastaje kada mi želimo energiju pretvoriti iz jednog oblika u drugi. Energiju koji dobivamo iz prirode i prirodnih resursa želimo pretvoriti u oblik energije koja nam služi za koristan rad. Prilikom te pretvorbe nikada ne možemo svu uloženu energiju pretvoriti u željeni oblik, nego samo dio. Odnos dobivene i uložene energije se zove iskoristivost. Cilje je čovjeka već nekoliko stoljeća izgraditi takav stroj za pretvorbu koji bi imao 100%-tnu iskoristivost, no za sada je to nemoguće. Također, jedan od glavnih problema vezanih za energiju je neiskorištavanje oblika energije koje nam priroda „pruža“, a koji su neiscrpni. Kao na primjer, energija valova, plime i oseke, vjetra, sunca. Puno je još prostora za napredak u tim područjima iskorištavanja energije.

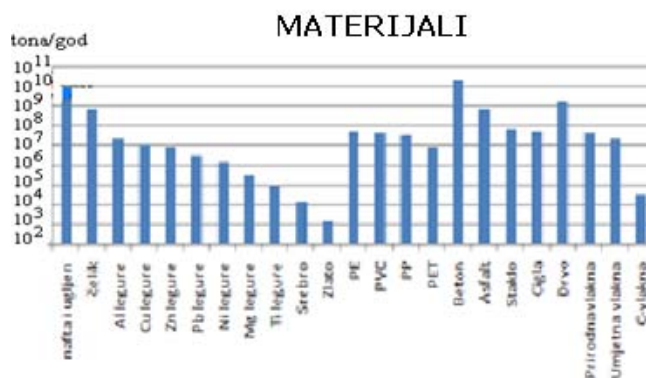
Najveći dio energije koristi se za tri velika sektora: transport, građevinu (grijanje, hlađenje, osvjetljenje) i industriju. Prikazano na slici 2.



Slika 2 Udio potrošnje ukupne energije u sektoru transporta, građevine, industrije [1]

## 2.2. MATERIJALI

Na globalnoj razini ljudi godišnje potroše oko 10 milijardi tona inženjerskog materijala, što je prosječno 1.5 tona materijala po osobi. Naravno, potrošnja nije jednoliko raspoređena u svijetu. Toliku količinu materijala priroda ne može nadoknaditi svojim prirodnim putem, pogotovo ako znamo da su za nastanak nekih materijala potrebni milijuni godina. Pojedine vrste materijala nazivamo neobnovljivima zato jer ne postoji prirodan način da se stvore. Bez obzira na to ljudi koriste i zasnivaju svoje postojanje na mnogim materijalima koje ćemo kad-tad potrošiti i neće ih više biti. Velike količine tih materijala bivaju bačene u otpad kao dio nekog proizvoda, na primjer mnoge količine bakra se bacaju kao dio proizvoda elektroničke opreme. Na slici 3 vidimo potrošnju materijala u logaritamskom mjerilu podijeljenju na 23 materijala o kojima ovisi cijela svjetska industrija. Iako nije toliko očigledno na logaritamskom mjerilu, potrošnja betona i fosilnih goriva je nekoliko desetaka puta veća od potrošnje većine ostalih materijala. Od metala je čelik daleko najzastupljeniji materijal zbog svojih dobrih mehaničkih svojstava i niske cijene, iako nema tako dobra svojstva kao neki super-materijali poput titana ili kompozita ijačanih ugljičnim vlaknima. Zanimljivo je vidjeti da je potrošnja drveta još uvijek veća od potrošnje čelika. Razlog tome leži u činjenici da je drvo još uvijek jako zastupljeno u građevinarstvu. Također je vrlo velika potrošnja polimernih materijala. Prije pedesetak godina potrošnja polimera je bila nazatna naspram današnje. Danas potrošnja široko potrošnih polimera kao polietilen (PE), polivinilklorid (PVC), polipropilen (PP), i polietilen-tetraftalat (PET) nadmašuje potrošnju bilo kojeg metala osim čelika. [1]



Slika 3 23 najčešće upotrebljena materijala u industriji [1]

### 2.3. VODA

Proizvodnja osim materijala i energije koristi još jedan važan izvor, a to je voda. Voda je obnovljiv izvor, ali obnovljiv samo u onoj mjeri u kojoj to ekosustav dopušta. Sve veća potreba za svježom vodom sve više opterećuje ekosustav. Svjetska potrošnja vode je porasla čak tri puta u zadnjih 50 godina. Pojedine prognoze govore da će ubrzo voda postati veći problem nego što je danas nafta, a više od polovice svjetskog stanovništva će zahvatiti nedostatak pitke vode. Agrokultura je najveći svjetski potrošač pitke vode, oko 65% posto, a u industrijski razvijenim zemljama je industrija također veliki potrošač.

Potrošnja vode u proizvodnji se mjeri direktno kao količina vode potrebna za proizvodnju kilograma određenog proizvoda. Mjerna jedinica je  $l/kg$ , označava koliko litara vode je potrebno za proizvodnju jednog kilograma nekog materijala. U proizvodnji inženjerskih materijala količina potrošene vode po kilogramu se kreće od 10 do 1000  $l/kg$  materijala. Za što se koristi voda? U proizvodnji čelika, na primjer, voda se koristi za izvlačenje minerala (željezne rude, vapnenca, fosilnih goriva), kontrolu zagađenja (četkanje za čišćenje otpadnih plinova), te za hlađenje materijala i strojeva.

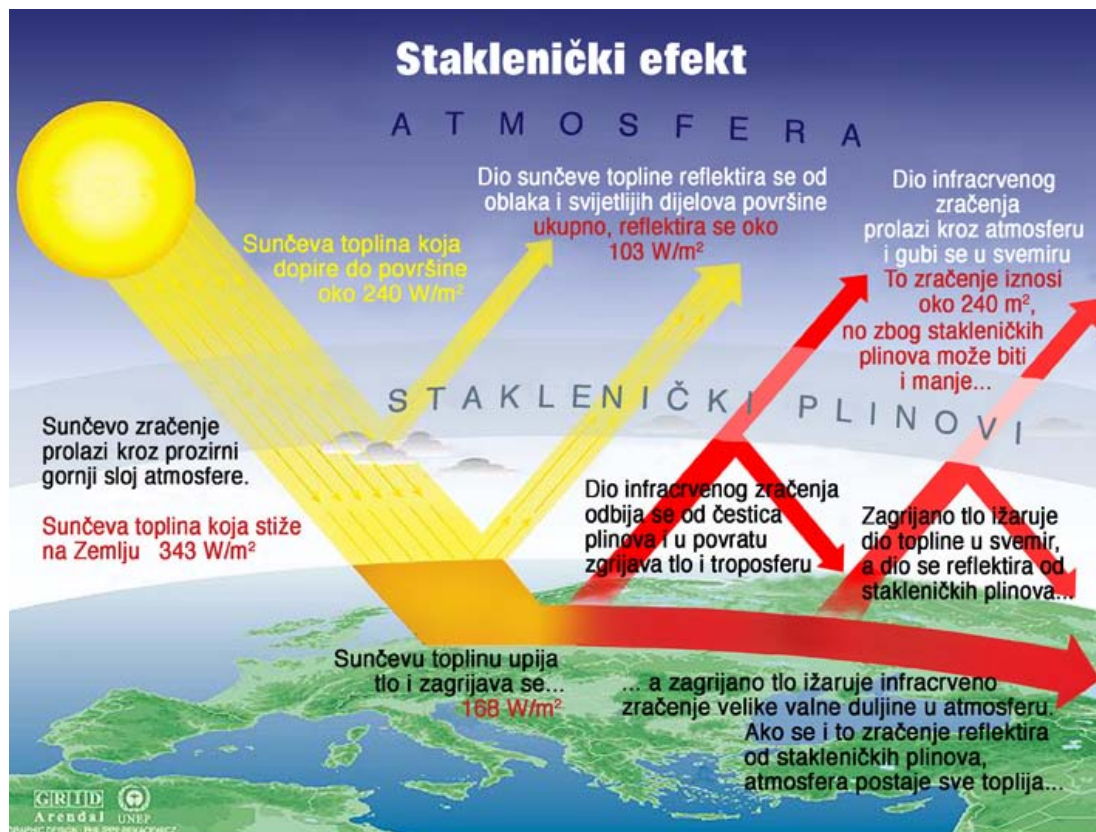
Kod procesa za opskrbu energije se također koristi voda kao medij za hlađenje uređaja i za uklanjanje prašine i pranje uređaja. [1]

## 2.4. CO<sub>2</sub>

Ugljični dioksid je bezbojni plin koji čini manji dio Zemljine atmosfere. Nastaje raspadom materijala, disanjem biljnog i životinjskog svijeta, i prirodno i ljudski izazvanim izgaranjem materijala i goriva na bazi ugljika. Ugljični dioksid se uklanja iz atmosfere putem fotosinteze i apsorpcije oceana. U industriji CO<sub>2</sub> se emitira iz vapnenih peći, dimnih plinova, sinteze amonijaka te ostalih izvora.

Dok je u prirodnim uvjetima standardna količina izmjerena u siječnju 2007. CO<sub>2</sub> u zraku iznosi 0,0383%, ali toj koncentraciji ugljičnog dioksida uz vodenu paru možemo zahvaliti temperature pogodne za razvoj života na Zemlji, budući da oba plina imaju značajnu ulogu u apsorpciji Sunčeva zračenja u višim dijelovima atmosfere, CO<sub>2</sub> je uz Sunčevo zračenje i biljke odgovoran i za fotosintezu, zahvaljujući kojoj nastaje prirodni O<sub>2</sub> kojeg udišemo i zbog kojeg živimo. No, zanimljivo je da je oko 1960. godine ukupna koncentracija CO<sub>2</sub> iznosila 0,032%, što možda ovako ne zvuči strašno, ali u ukupnoj masi zraka na Zemlji to je značajan udio. Ipak preko 95% emisija CO<sub>2</sub> u zrak nastaje prirodnim putem, kao što je organskim raspadanjem ili požarima ili vulkanskom aktivnošću. No, tih 95% emisija se apsorbira i uravnoteži prirodnim putem kroz fotosintezu i druge oblike raspadanja, a problem ostaje onih 5% koje nastaju čovjekovim djelovanjem i za koje naš okoliš nije dimenzioniran. Posljedica "tih mizernih" 5% je zagrijavanje, povećanje efekta staklenika i dodatno zagrijavanje Zemljine površine i atmosfere.

Dakako, što se tiče stakleničkih plinova, CO<sub>2</sub> nije jedini niti najefikasniji u tom pogledu, budući da su recimo metan (CH<sub>4</sub>), dušični oksid (N<sub>2</sub>O) ili klorofluorouglijci (npr. CFC13 ili CF<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>) puno efikasniji u tom pogledu, no, njih je u ukupnim antropogenim emisijama puno manje nego ugljičnog dioksida. Procjena je, da u ukupnom zagrijavanju Zemlje i efektu staklenika zbog ljudskih emisija CO<sub>2</sub> sudjeluje sa značajnih 61% u usporedbi s drugim plinovima. Zbog svog značaja, CO<sub>2</sub> postaje glavni krivac i referenca s kojom se uspoređuju i preračunavaju emisije drugih stakleničkih plinova, tako da dobivamo emisije "ekvivalentnog CO<sub>2</sub>". Tako, na primjer, djelovanje jedne tone CH<sub>4</sub> po pitanju efekta staklenika može se usporediti sa djelovanjem 23 tone CO<sub>2</sub>, dok se u slučaju jedna tona N<sub>2</sub>O račna kao 296 tona "ekvivalentnog CO<sub>2</sub>".[7]



Slika 4 Prikaz utjecaja stakleničkog efekta [8]

### 3. ŽIVOTNI CIKLUS PROIZVODA

Proizvodi, kao i biljke i životinje, imaju životni ciklus koji se sastoji od nekoliko faza. Upravo je od živih bića preuzet naziv „životni ciklus“ proizvoda. Početna faza je izvlačenje sirovog materijala od kojeg će se proizvesti proizvod („rođenje“), nastavlja se kroz proces proizvodnje i oblikovanja tog materijala u željeni oblik proizvoda („adolescencija“), proizvod se potom distribuira do krajnjih korisnika koji ga i koriste („zrelost“) i na kraju životnog ciklusa proizvoda proizvod se odlaže u otpad ili u proces recikliranja („smrt“).

Na *Slici 4* prikazat ćemo životni ciklus nekog materijala. Rude, sirovine i energija se crpe iz prirodnih resursa (Material Extraction) i od njih se dobivaju materijali. Od materijala se zatim raznim proizvodnim tehnologijama proizvode proizvodi (Manufacturing Production) koji se distribuiraju (Transportation), skladište, prodaju i na kraju i koriste. Proizvodi služe svojoj svrsi tijekom životnog vijeka na kraju kojeg se bacaju kao otpad. Mali dio proizvoda će se možda i naći u nekom postrojenju za reciklažu (Disposal Recycling) ili u sekundarnoj upotrebi (Utilization Reuse), no veći dio će završiti u nekom postrojenju za zbrinjavanje otpada, biti spaljen ili zakopan duboko pod zemljom. U svakom od ovih faza životnog vijeka proizvoda energija i materijali se crpe iz prirodnih resursa, a u okoliš se ispuštaju razne štetne tvari. Smanjenje „potrošnje“ energije i materijala te emisije štetnih tvari je ono na čemu moramo inzistirati ako želimo očuvati okoliš u koliko-toliko dobrom stanju.



Slika 5 Prikaz životnog ciklusa materijala [1]

Što se više povećava broj ljudi, i što češće ljudi odbacuju stare proizvode mijenjajući ih novima, to više materijala prolazi kroz industrijski sistem i na kraju biva odbačeno kao otpad. Sve veće količine otpada su jedan od glavnih problema s kojima se moderni svijet suočava. Nedostatak postrojenja za zbrinjavanje otpada je glavni problem u borbi protiv brzo rasuće otpada.

Na otpad treba gledati drukčije, kao izvor. Otpad sadrži materijale i otpad sadrži energiju. Kao što znamo sve više ispravnih uređaja završava u otpadu i mnogi dijelovi ako ne i cijeli uređaji se mogu ponovo koristiti, to moramo iskoristiti.

### 3.1. KRAJ ŽIVOTA PROIZVODA

Tek nedavno u ljudskoj povijesti se pojavio fenomen kojeg smo svjedoci i danas. Taj fenomen karakterizira nepotrebno posjedovanje puno više proizvoda nego što nam je zapravo potrebno. Pogledajmo , na primjer, namještaj koji se nekada kupovao da bi ga koristile mnoge generacije, a danas jedna generacija za svog života promijeni nekoliko namještaja. Ručni sat je nekada karakterizirao osobu, a danas pojedinci imaju i na desetke ručnih satova. Danas u svijetu vlada navika bacanja proizvoda prije nego što je funkcionalno pokvaren i nepopravljiv.

Zbog takve navike modernog čovjeka, uvriježeno je nekoliko „vrsta“ života proizvoda:

- *Fizički život*, označava vrijeme proizvoda dok se ne pokvari ili potrga toliko da se ne može popraviti
- *Funkcionalni život*, vrijeme dok proizvod postane nepotreban
- *Tehnički život*, vrijeme dok se proizvod ne postane nepotreban zbog razvoja novih tehnologija
- *Ekonomski život*, vrijeme dok proizvod ne postane ekonomski neprihvatljiv, kada se pojavi proizvod jednake funkcionalnosti uz puno prihvatljivije troškove korištenja
- *Legalni život*, traje dok se ne postave novi standardi ili zakoni koji onemogućuju daljnje korištenje proizvoda

Dakle, vidimo da kraj životnog ciklusa nije jednoznačno određen, nego ovisi o razlozima zbog kojih se pojedinac odriče daljnjeg korištenja proizvoda.



## 3.2. ŠTO NAPRAVITI NA KRAJU PROVOG ŽIVOTNOG CIKLUSA?

Nekoliko je načina na koje se tretiraju proizvodi koji su na kraju životnog ciklusa odbačeni kao otpad.

### **Deponij**

Mnogi proizvodi koje bacimo završe u jednom od mnogih deponija. No deponiranje otpada predstavlja veliki problem. Naime, već sada se u mnogim europskim državama iskoristila sva zemlja prikladna za deponij otpada. Otpada je sve više, slobodne zemlje sve manje, tako da ova opcija predstavlja nerješivu prepreku. Samim time prisiljeni smo tražiti druga rješenja.

### **Spaljivanje otpada**

Materijali, kao što znamo, sadrže energiju. Umjesto da bacamo proizvode, pametnije bi nam bilo da iskoristimo tu energiju pomoću kontroliranog izgaranja. No to nije tako jednostavno kako zvuči. Prvo, otpad treba sortirati na izgorive i neizgorive materijale. Zatim izgaranje mora biti izvedeno u posebnim uvjetima zato da prilikom izgaranja nebi stvarali otrovni produkti izgaranja, što zahtjeva visoke temperature, sofisticiranu kontrolu i skupu opremu. Ponovno dobivanje energije iz materijala je nepotpuno iz dva razloga: prvo zato što je izgaranje materijala nepotpuno i drugo zato što otpad koji izgara sadrži veliku količinu vlage koju bi prvo trebalo ispariti. Iskoristivost u dobivanju topline izgaranjem otpada je 50%, a ako tu toplinu koristimo za generiranje električne energije onda iskoristivost pada na 35%.

Unatoč lošoj iskoristivosti i nepovoljnoj ekonomskoj računici, spaljivanje otpada se često pokazuje kao vrlo dobro rješenje za zbrinjavanje otpada. Moramo napomenuti da je emisija CO<sub>2</sub> jedna od glavnih negativnih nuspojava ovog procesa.

### **Obnavljanje**

Obnavljanje je za neke proizvode ekonomski isplativo i u suporedbi s potpunom zamjenom proizvoda energtski učinkovitije. Ponekad proizvod bacamo samo zbog jednog malog dijela koji ne radi ili više ne zadovoljava naše potrebe, no puno je učinkovitije i za okoliš bolje samo zamijeniti određeni dio. Problem kod obnavljanja predstavljaju sami proizvođači koji namjerno konstruiraju proizvode tako da je nemoguće zamijeniti samo jedan dio koji se

pokvari, nego se mora zamijeniti cijeli proizvod. Proizvođačima se to više isplati jer ćemo više platiti cijeli novi proizvod nego samo jedan dio.

### **Ponovna upotreba**

Ponovna upotreba proizvoda znači usmjeravanje proizvoda nakon završetka životnog vijeka u neki drugi sektor koji ga je spreman prihvatiti u trenutnom stanju. Nameću se dvije logične mogućnosti za proizvode koje je netko odbacio:

- Korištenje u istu svrhu koju je proizvod imao u predhodnom životnom ciklusu. Najčešći primjer za to je polovni automobil. Automobili su prilično skup proizvod pa se ljudi često odlučuju za kupovinu automobila koji je nekome već prestao zadovoljavati potrebe. Nekome je neki automobil prestar ili nedovoljno dobar, pa se odlučuje za kupnju novoga, no umjesto da stari automobil odbaci kao otpad korisnik ga prodaje nekome kome će i taj stari automobil koristiti.
- Korištenje u drugu svrhu. Mnogi se proizvodi po završetku jednog životnog ciklusa mogu lako iskoristiti za neku potpuno drugu svrhu. Na primjer, stari autobus koji više nije ispravan se uz male preinake može koristiti kao recimo kiosk za prodavanje brze hrane. Stare automobilske gume, umjesto na otpadu, svoje mjesto često nađu u nekoj brodskoj luci gdje se koriste na pristaništima kao zaštita za brodove ako udare u betonski zid pristaništa. Primjera je mnogo i uz malo mašte i truda mnogi proizvodi bi umjesto na smetlištu mogli završiti negdje gdje bi bili korisni.

### **Recikliranje**

Otpad je otpad samo onda kada više ništa ne može biti učinjeno da bi bio koristan. Najčešće je taj otpad zapravo novi izvor energije i materijala. Recikliranje je prerada materijala izdvojenog od proizvoda na kraju životnog vijeka. Recikliranje jedino od svih navedenih načina za tretiranje otpada ispunjava dva vrlo važna kriterija:

- Može vratiti otpadni materijal nazad u životni ciklus proizvoda.
- Može to raditi u tolikoj mjeri da se može nositi sa brzinom kojom se otpad stvara

Recikliranjem se troši energija i ispuštaju se štetni plinovi. Ipak, energija potrošena recikliranjem je puno manja u odnosu na energiju koja se troši prilikom uzimanja sirovih ruda iz zemlje. Međutim, recikliranje nije financijski najisplativija solucija, što također ovisi o

stupnju razdvajanja materijala koji se treba reciklirati. Pogoni i strojevi za reciklažu su jako skupi i to je glavni razlog zašto recikliranje nije više zastupljeno u industriji.

Još jedan nedostatak recikliranja je i činjenica da ne mogu svi materijali biti reciklirani. Na primjer, kompoziti dugačkih vlakana ne mogu biti naknadno razdvojeni na polimer i vlakna, ali se mogu koristiti u druge svrhe, na primjer ako se izrežu na manje komade i koriste kao filteri.

## 4. KONSTRUIRANJE ZA RECIKLABILNOST

Troškovi na kraju životnog ciklusa proizvoda mogu biti smanjeni, a ponovna iskoristivost materijala i kvaliteta povećani ako se još u fazi konstruiranja proizvoda, izbora materijala i strukture obrati pažnja na mogućnost budućeg recikliranja tog proizvoda. To se može postići smanjenjem broja različitih materijala u jednom proizvodu, izbjegavanjem kombiniranja nakompatibilnih materijala i upotrebom spojeva koji se lako mogu rastaviti. Na ovaj način se postiže lakše i bolje rastavljanje dijelova od različitih materijala što uvelike olakšava pripremu za recikliranje. Jednako je važno da se dijelovi koji sadrže otrovne ili opasne materijale i tvari mogu lako izdvojiti od ostatka proizvoda.

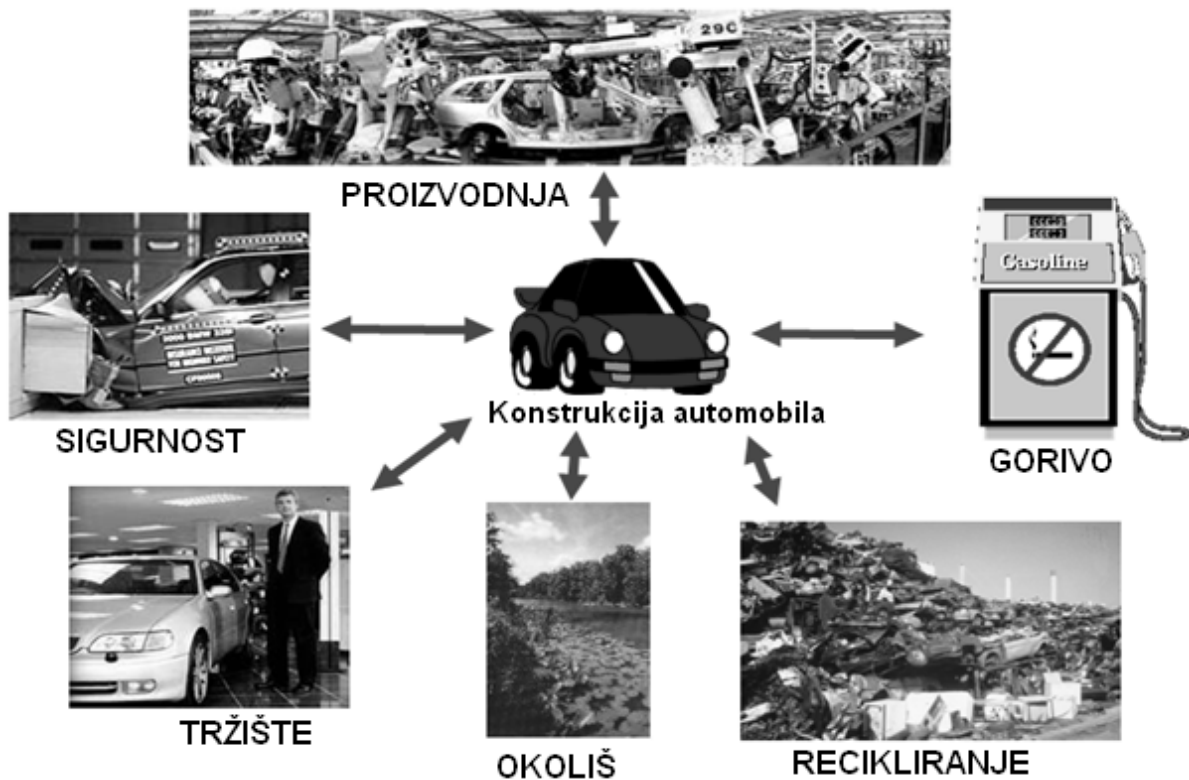
Konstruiranje za reciklabilnost (eng. *Design for recycling* – DFR) je način konstruiranja proizvoda u kojem je sposobnost proizvoda za reciklažu jedan od kriterija pri donošenju ključnih odluka. Glavni problemi su kompatibilnost materijala, rastavlјivost, jednostavnost mehaničkog odvajanja dijelova i struktura proizvoda. Rezultat ovakvog načina konstruiranja proizvoda je poboljšana mogućnost ponovne uporabe materijala proizvoda na kraju životnog ciklusa.

U prošlosti se dosta radilo na području konstruiranja za reciklabilnost. Mnogi izvori daju smjernice i savjete za što učinkovitije konstruiranje za reciklabilnost. Neki proizvođači su preveli te smjernice u radne zahtjeve i pravila koji pogoduju njihovom načinu konstruiranja. Drugi provode točna ocjenjivanja razine reciklabilnosti svojih novo razvijenih proizvoda.

Prednosti recikliranja bi bile i više nego očite kada bi se u potpunosti mogle provoditi smjernice za konstruiranje za reciklabilnost. Međutim, prilikom konstruiranja i razvoja novog proizvoda konstruktor mora voditi računa o raznim zahtjevima. Prilikom konstruiranja automobila konstruktori moraju misliti na nekoliko ključnih aspekata (*Slika 6*):

- Mogućnost i jednostavnost proizvodnje
- Potrošnja automobila
- Sigurnost automobila i putnika
- Konkurentnost na tržištu
- Utjecaj na okoliš
- Reciklabilnost dijelova automobila

Proizvođači moraju biti konkurentni na globalnom tržištu, pa su zbog toga niska cijena proizvodnje i konkurentnost proizvoda prioriteti. Također, proizvođači su odgovorni za sigurnost proizvoda. Osim reciklabilnosti, drugi aspekti utjecaja na okoliš moraju biti uzeti u obzir, kao potrošnja energije i vode, te emisija štetnih tvari. U ovako širokom spektru zadaća koje konstruktor, tj. proizvod mora ispuniti nije rijetkost da se reciklabilnost proizvoda zanemaruje. To je najjasnije ilustrirano na primjeru razvoja osobnih automobila. [11]

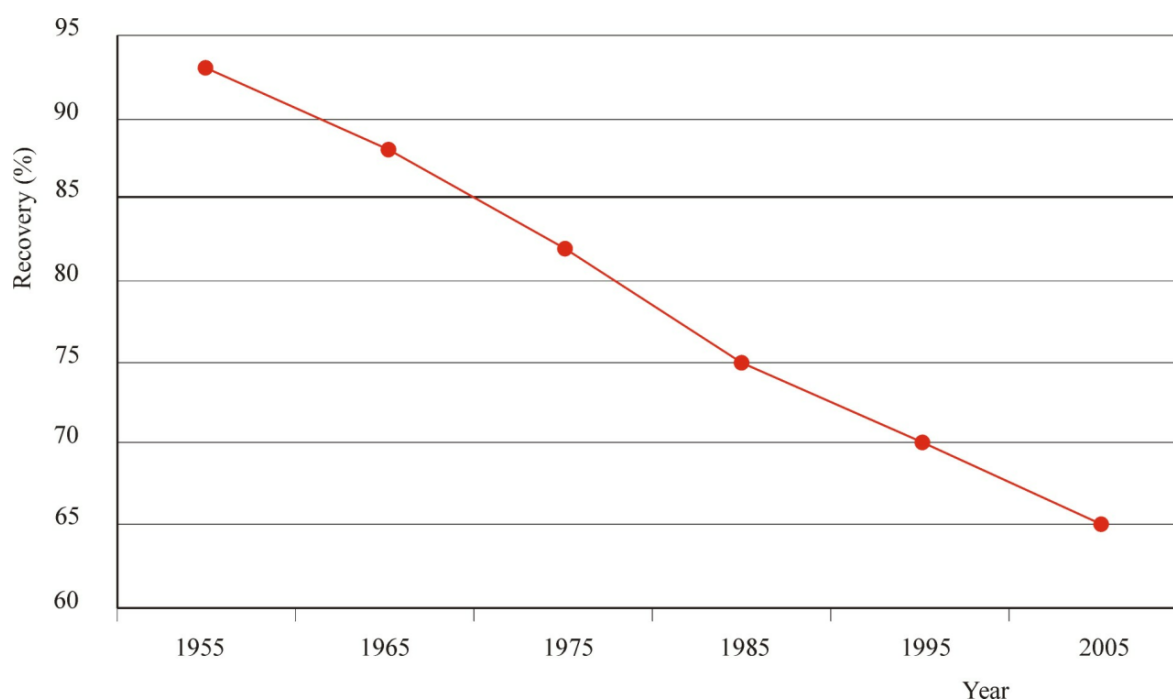


Slika 6 Ključni aspekti prilikom konstruiranja automobila[11]

Automobili su s vremenom postali sve teži i kompleksniji. Kompleksnost smanjuje udio dijelova koji se mogu reciklirati. Na primjer, povećana kompleksnost motora, povećana luksuznost i sigurnost samog automobila rezultirali su sve većim brojem manjih i kompleksnijih dijelova izrađenih od različitih materijala. Također, zahtjevi za smanjenjem potrošnje goriva povećali su upotrebu laganijih materijala kao aluminij, magnezij, plastike i metal/polimer laminata ili kompozita. Stroži zahtjevi za smanjenjem emisije štetnih plinova

rezultirali su složenijim sustavom ispuha s elektroničkim nadzorom ispušnih plinova. Elektronske komponente i količina žica su se drastično povećali.

Koristeći se razrađenim i skupim tehnikama za recikliranje bilo bi moguće održavati istu razinu stope recikliranja kao u dobre stare dane kad su automobili bili izrađeni od 90% čelika, ali prodaja proizvedenih sekundarnih sirovina više ne pokriva troškove procesa recikliranja. To je ilustrirano na slici 7. Slika pokazuje kretanje udjela stope recikliranja za prosječno osobno vozilo kao funkciju vremena. To ukazuje na velik udio automobila koji može biti recikliran, ali po vrlo visokoj cijeni koja nadmašuje cijenu nabavljanja sirovih proizvoda. U mnogim zemljama u Europi udio recikliranih dijelova je veći od prikazanog jer postoje mnogi zakoni koji propisuju udio recikliranog materijala u novim automobilima, a osim zakona koriste se i novčani poticaji za korištenje recikliranih materijala.



Slika 7 Kretanje udjela recikliranja za prosječno osobno vozilo kao funkcija vremena[11]

Unatoč mnogim drugim aspektima koje konstruktor mora uzeti u obzir, moguće je biti svjestan pametnih kombinacija materijala i spojeva koji su povoljni za buduće recikliranje. Ovo nije samo dobro za stopu recikliranja. U više je slučajeva dokazano da se proizvod koji je jednostavan za rastaviti na dijelove za recikliranje ujedno jeftiniji za sklopiti. Ključno pitanje u konstruiranju za reciklabilnost je da konstrukcijski tim mora biti svjestan čimbenika koji utječu na stopu recikliranja. Oni su određeni tehnologijom za recikliranje. U tu svrhu su formulirane smjernice konstruiranja za reciklabilnost za konstruktore da ih oni mogu koristiti kako bi poboljšali stopu recikliranja proizvoda bez potrebe da postanu stručnjaci za reciklažu. Razvijeni su i programski alati koji pomažu u usporedbi različitih izvedbi proizvoda s ciljem pronalaženja povoljnije izvedbe za recikliranje.

Europski parlament i vijeće izdali su 2000. godine direktivu 2000/53/EC kojom je postavljen temelj za daljnji napredak na području smanjenja otpada nastalog svim proizvodima koji spadaju u kategoriju vozila. Direktiva nalaže mjere koje u prvom planu služe za prevenciju stvaranja otpada od vozila, a također i služe da bi se povećao udio materijala koji će na kraju životnog ciklusa vozila biti reciklirani, ponovo korišteni ili prenamijenjeni. Direktiva također ima za cilj poboljšati ekološki učinak svih strana uključenih u sve faze životnog ciklusa vozila.

Ovakav dokument je potreban da bi se zakonske regulative koje reguliraju nastajanje otpada od vozila u raznim zemljama stavile u zajedničke okvire. Na taj način se zajednički smanjuje štetan utjecaj životnog ciklusa vozila na okoliš te se čuva i poboljšava kvaliteta okoliša. Također, zajedničkim uređenjem ovih regulativa olakšava se poslovanje unutar zajednice (EU) i smanjuje mogućnost možebitnih komplikacija zbog razlika u zakonskim regulativama.

## 5. PROCJENA UTJECAJA ŽIVOTNOG VIJEKA PROIZVODA NA OKOLIŠ (eng. *Life-cycle assesment – LCA*)

### 5.1. ŠTO JE LCA?

Procjena utjecaja životnog vijeka proizvoda na okoliš (eng. *Life-cycle assesment – LCA*) prati i dokumentira utjecaj proizvoda kroz sve faze životnog vijeka proizvoda na okoliš. Utjecaj proizvoda na okoliš se očituje kroz prirodne resurse koji se troše, emisije štetnih tvari koje se generiraju, te količinu energije koja se koristi te „troši“ za proizvod u svim fazama životnog ciklusa proizvoda. Utjecaji mogu biti pozitivni i negativni. Uglavnom su utjecaji negativni, osim u situacijama kada od proizvoda dobivamo „nazad“ materijal ili energiju, kao što je to slučaj kod recikliranja ili spaljivanja otpada. Procjena se temelji na sakupljanju i ocjenjivanju podataka o količini energije i materijala koji se troše i dobivaju iz materijala tijekom jednog životnog vijeka proizvoda. Procjena utjecaja životnog vijeka proizvoda na okoliš se može opisati kao suma utjecaja sljedećih koraka:

- Izvlačenje važnih sirovih ruda
- Prerada i pretvorba tih ruda u materijal pogodan za obradu
- Proces proizvodnje samih proizvoda
- Transport i distribucija proizvoda
- Korištenje i rad proizvoda tijekom cijelog životnog vijeka
- Na kraju korisnog života, transport, obrada i tretman otpada

Svaki proces na kraju životnog vijeka proizvoda (recikliranje, spaljivanje,...) bi trebao omogućiti ponovno dobivanje jednake količine energije i materijala koliko se na taj proizvod potrošilo.



## **5.2. ZAŠTO KORISTITI PROCJENU UTJECAJA PROIZVODA NA OKOLIŠ?**

Procjena utjecaja životnog ciklusa proizvoda na okoliš može pomoći u pronalasku rješenja za smanjenje utjecaja na okoliš i smanjivanje troškova. Sve se više u svijetu pridodaje važnost procjenjivanju sveukupnog utjecaja proizvoda, procesa i usluga na okoliš, kao i potrebi za smanjenjem zagađenja i iskorištavanja prirodnih izvora. LCA pruža sredstva za provođenje takvih procjena.

U razvijenim zemljama, vlade se koriste raznim načinima da pokušaju smanjiti negativan utjecaj na okoliš. Jedan od načina da se smanji utjecaj proizvoda na okoliš je nagrađivanje raznih proizvoda zbog toga što način proizvodnje i uporabe imaju jako mali štetan utjecaj na okoliš. Cilj je takvih nagrada promjena načina razmišljanja kupaca kada biraju proizvod koji žele kupiti, ali i konstruktora kada konstruiraju novi proizvod. Sve se više proizvođača hvali svojim „zelenim“ proizvodima koji nisu štetni za okoliš jer znaju kako se kod sve većeg broja ljudi u svijetu budi svijest o očuvanju okoliša. U Europskoj Uniji nagrada za takve proizvode se zove „Eko-oznaka“ (eng. „Eco-Label“) i LCA predstavlja osnovu za donošenje odluke o tome koji proizvod zaslužuje tu titulu.

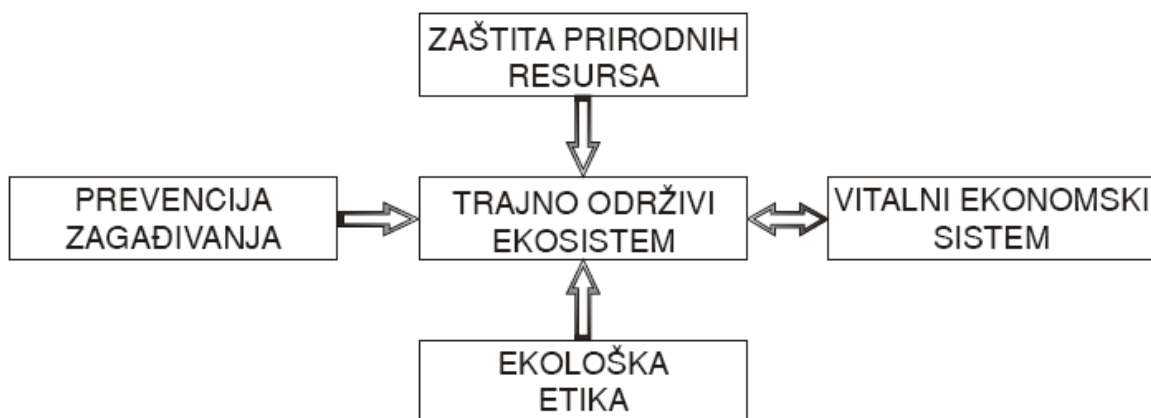
Također, svaka konkurentna kompanija želi dobiti certifikat o menadžmentu koji brine za okoliš (npr. BS EN ISO 14001), a da bi to postigla može odabrati LCA kao metodu da bi identificirala svoje komponente koje najviše štete okolišu i na taj način provodila program kontinuiranog napretka.

### 5.3. OSNOVNA OBILJEŽJA I PRINCIPI LCA

S obzirom na ukupni pogled na proizvod ili proces, ponekad se analiza LCA karakterizira kao analiza “od kolijevke pa do groba” (eng. *from cradle to grave*). Što se tiče obuhvaćanja i obujma, ova karakteristika odgovara LCA analizi. Što se tiče sadržaja LCA, neophodno je njeno preciznije definiranje.

LCA pruža sustavni okvir za identifikaciju, analizu i planirano smanjenje negativnih ekoloških utjecaja u pojedinim fazama životnog ciklusa proizvoda. Vrlo je značajan alat pri stvaranju novih proizvoda, inovacija ili rekonstrukciji postojećih proizvoda, odnosno proizvodnih sustava. Posredstvom LCA je moguće doći do novih informacija za odlučivanje, kako u oblasti strategije tako i za tekuće upravljanje organizacijom. To znači da je LCA efikasna forma ekološke analize. [12]

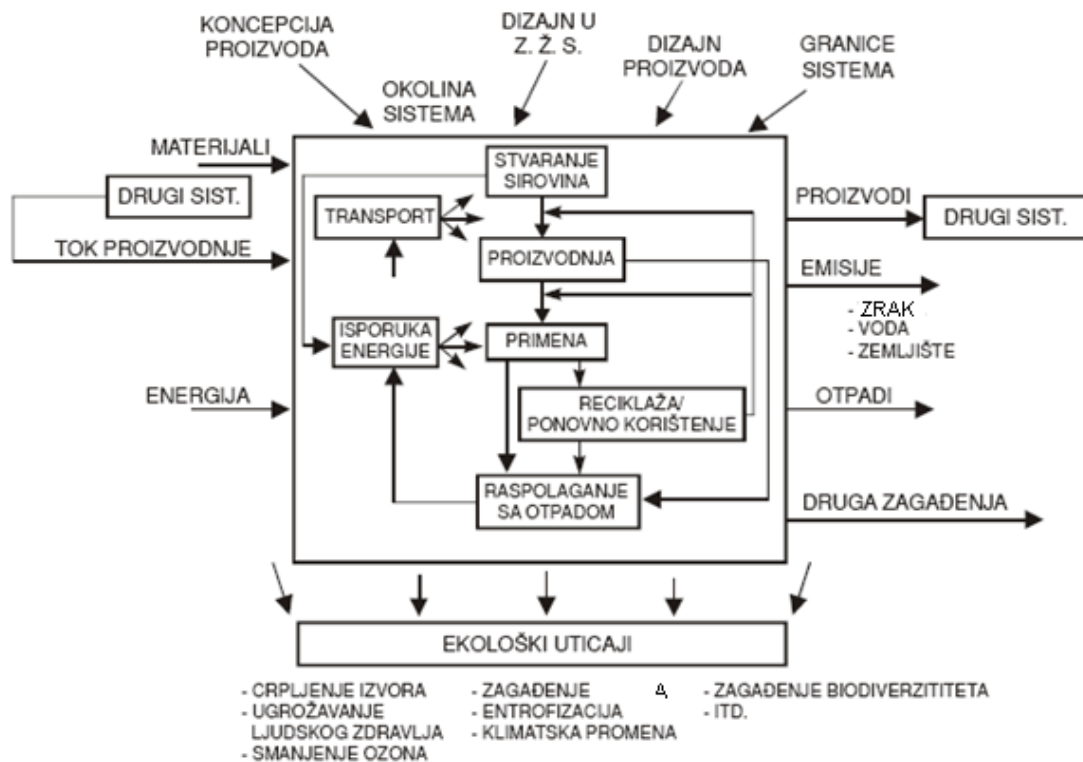
LCA metoda ovako postaje značajan prilog za trajno održivi razvoj, jer spaja ekonomske i ekološke učinke u sveukupnom shvaćanju cijelog proizvodnog, korisničkog i otpadnog sustava (*slika 7*).



Slika 8 Ciljevi LCA metode u vezi sa trajno održivim razvojem[12]

Organizacija, koja primjenjuje osnove LCA metode mora već kod izbora ulaznih materijala uzeti u obzir ne samo to, da li će neki materijal biti u nekoj fazi života proizvoda razlog negativnog utjecaja na okoliš već i to, da li proizvodnja ovog materijala donosi negativni ekološki učinak. Ovaj pristup je vodio u zemljama EU otvaranju aktivnosti razvoja, priznavanja i postepene aplikacije sustava ekološkog označavanja (tzv. Eco labelling), ne samo u samom proizvodnom sustavu, već i u odnosima sa dobavljačima. Mnogo korisnika od svojih dobavljača direktno zahtjeva materijal sa ekološkom oznakom, odnosno sa garancijom da pri njihovoj proizvodnji ne dolazi do degradacije životne sredine. U sličnom smjeru se razvija i odnos prema transportu, materijalima za ambalažu i slično.

Sustavni model proizvoda za potrebe ocjenjivanja životnog ciklusa je prikazan na slici 8.



Slika 9 Sistemski model proizvoda za ocjenjivanja životnog ciklusa[12]

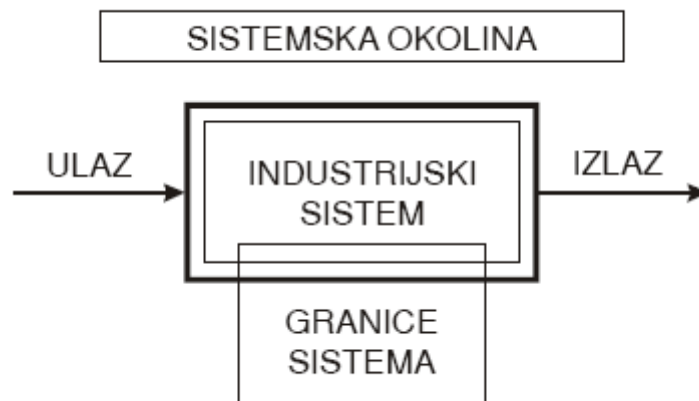
Prema prihvaćenim standardima, **ključna obilježja** LCA analize su: [12]

- LCA analize trebaju sustavno i primarno odrediti ekološke aspekte sustava proizvoda i dobivanja sirovina;
- nivo temeljitosti i vremenski okvir LCA analize mogu se mijenjati u velikom rasponu, prema definiranom cilju i predmetu analize;
- predmet, pretpostavke, nivo kvalitete podataka, metoda i izlaz LCA analize moraju biti pregledni. LCA analize trebaju razmatrati i dokumentirati izvore podataka i jasno ih prikazati;
- LCA metoda treba biti dostupna novim egzaktnim otkrićima i poboljšanjima na nivou suvremenog stanja tehnologije;
- kod primjene LCA analize, specifični zahtjevi se primjenjuju za stvaranje uspoređujućih proizvoda, koji su dostupni javnosti;
- rezultate LCA analize ne treba reducirati na jednostavne podatke i brojeve, jer u raznim fazama životnog ciklusa su važni razni odnosi i pripajanja analiziranih sustava;
- ne postoji jedinstvena metoda za pripremu LCA analize. Prema međunarodnom standardu pojedine organizacije trebaju fleksibilno koristiti LCA na osnovu specifične primjene i zahtijeva korisnika.

**Glavni principi** LCA metode su: [12]

- jasno definirati ciljeve i obujam analize još prije početka same analize, od kojih se onda odvijaju svi sljedeći koraci. Od točno i jasno definiranih ciljeva zavisi kvaliteta analize;
- jasno definirane granice sustava. Granice bi trebale obuhvatiti sve što je potrebno analizirati u svakoj fazi životnog ciklusa proizvoda. Svaki industrijski sustav je reprezentiran granicom koja ograničava aktivnosti, koje su predmet interesa. Prostor izvan granice – okolina sustava – služi kao izvor ulaza u sustav i prihvatni element izlaza iz sustava (*slika 10*). Određivanje granica sustava je najvažniji zadatak na početku LCA, jer su pogrešne interpretacije izvor najvećih grešaka;
- izbjeći višestruko kalkuliranje istih stavki, kao što su potrošnja energije, materijala i produkcije otpada ili zagađenja;
- održati koegzistenciju pri formiranju katastarske baze podataka. Jedinice moraju biti usporedive i primjenjivane na odgovarajućim mjestima;

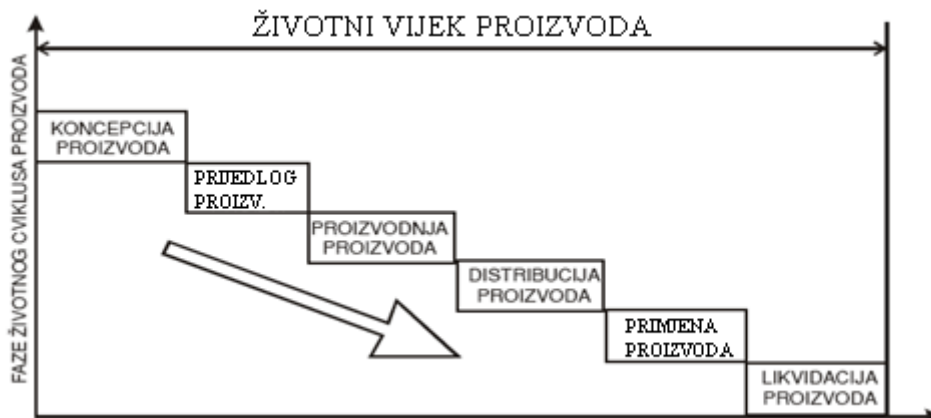
- obuhvatiti energetska vrijednost materijala i proizvodnu vrijednost energetskih izvora;
- kod prikupljanja podataka za LCA, neophodno je uzimati u obzir sljedeće faktore:
  - prikupljanje podataka je vremenski najzahtjevniji dio analize,
  - mnogi podaci su skriveni, tako da je vrlo teško doći do njih,
  - javno dostupni podaci (publikacije) su većinom zastarjeli, ne sadrže zahtijevane detalje i ne održavaju važne trendove proizvodnje i tehnologije,
  - potrebno je što brže i točnije prikupiti podatke potrebne stručnjacima za analize.



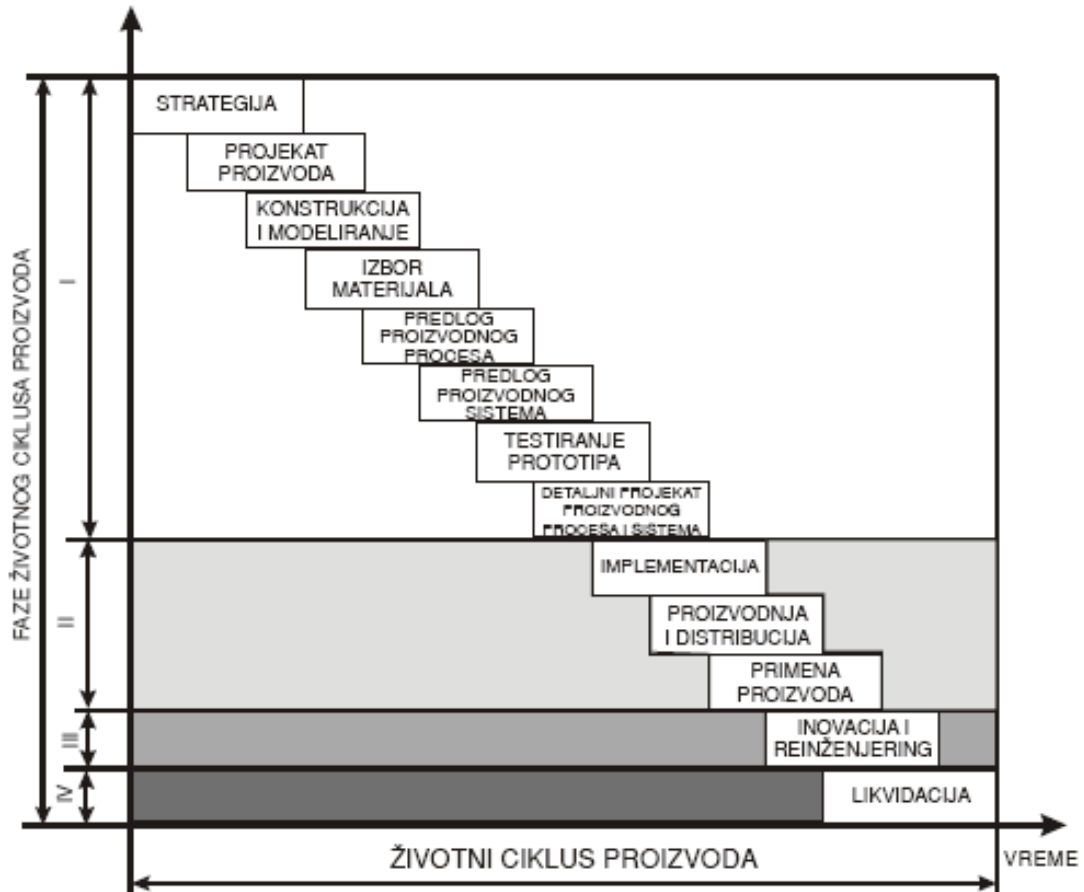
Slika 10 Granice industrijskog sustava (prema SEAC) [12]

## 5.4. GLAVNE FAZE ANALIZE I NJIHOVA METODIČKA STRUKTURA

Životni put proizvoda ne počinje njegovom pojavom na tržištu, niti završava njegovim odbacivanjem u kontejner za smeće. Životni ciklus proizvoda je mnogo složeniji i čini ga nekoliko faza (*slika 11*). Faze životnog ciklusa proizvoda nisu jednoznačno određene te se u različitim projektima i analizama javljaju različite faze, ovisno o potrebama i cilju same analize. U nekim slučajevima pojedine faze su realizirane postepeno, tj. jedna za drugom sa jasnom granicom kraja jedne faze i početka iduće. Ponekad se pojedine faze do određene mjere međusobno preklapaju na način da je jedna faza počela dok prethodna još nije sasvim završila (*slika 12*).



Slika 11 Faze životnog ciklusa proizvoda sa jasnim granicama[12]



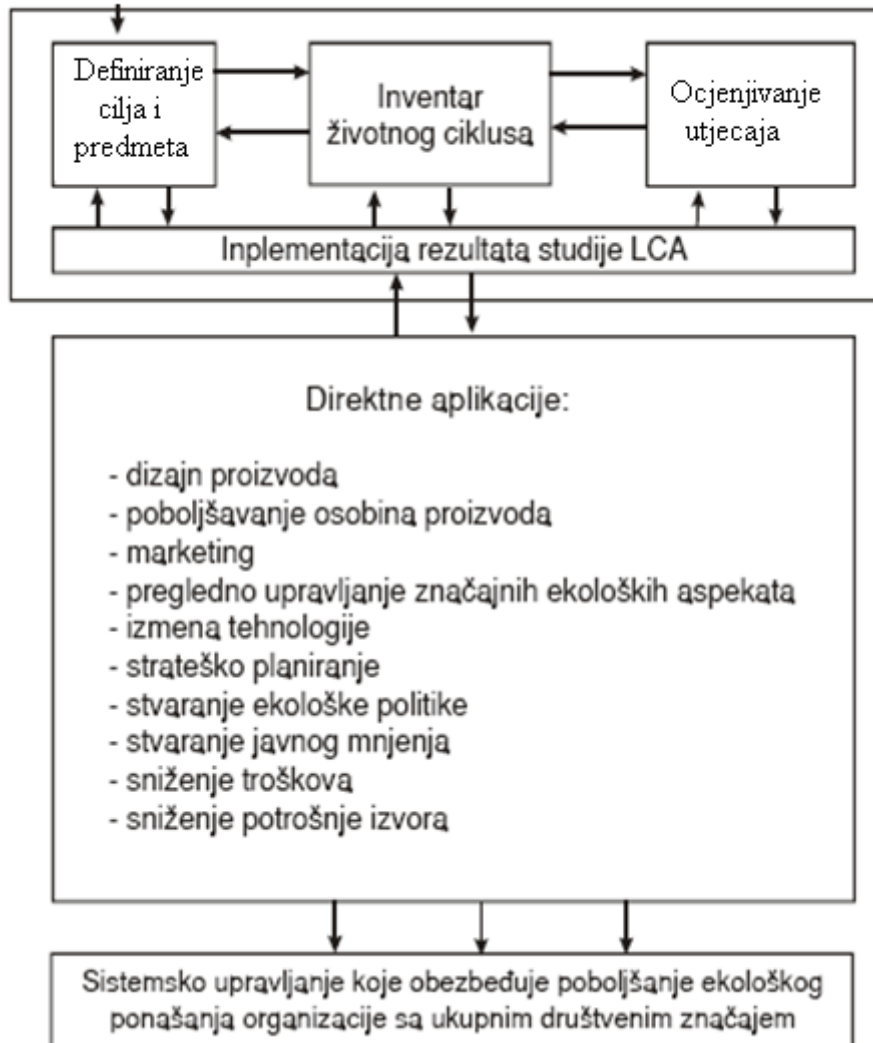
Slika 12 Faze životnog ciklusa proizvoda koje se preklapaju [12]

Ocjenjivanje životnog ciklusa realizira se kroz četiri faze: [12]

- 1 - definiranje ciljeva i predmeta,
- 2 - inventar životnog ciklusa,
- 3 - ocjenjivanje utjecaja,
- 4 - interpretacija rezultata.

Navedene faze sa međusobnim zavisnostima prikazane su na *slici 13*. Za pojedine faze u nastavku se navode detaljnija objašnjenja.

STRUKTURA OCJENJIVANJA ŽIVOTNOG CIKLUSA



Slika 13 Faze analize LCA i njihove uzajamne zavisnosti[12]



### 5.4.1. CILJ I PREDMET LCA ANALIZE

Cilj LCA analize mora jednoznačno izražavati pretpostavljenu primjenu, razloge za izradu analize i pretpostavljene primaoce. Kod definiranja predmeta LCA analize moraju se poštovati i jasno opisati sljedeći elementi: [12]

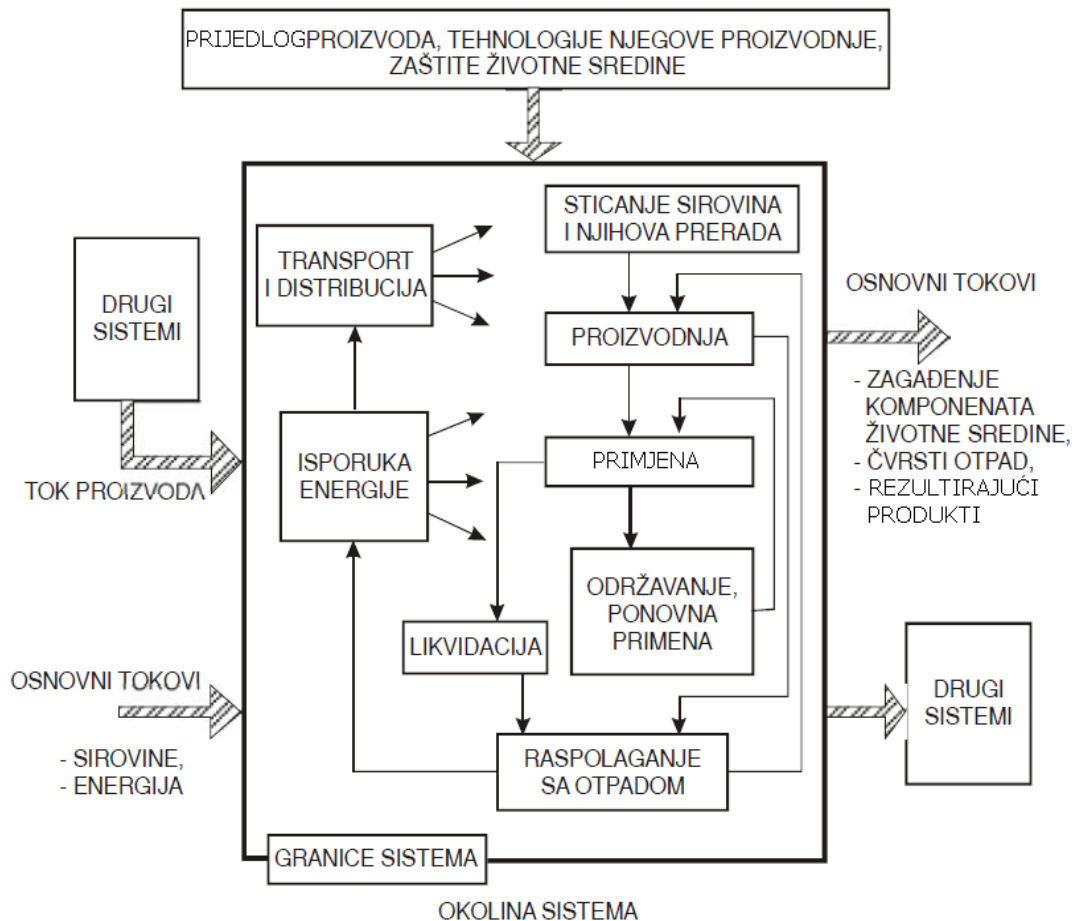
- funkcije sustava proizvoda u slučaju usporednih analiza sustava proizvoda,
- funkcionalna jedinica,
- analizirani sustav proizvoda,
- granice sustava proizvoda,
- pridruženi postupci,
- tipovi utjecaja i metoda ocjenjivanja utjecaja, uključujući naredne interpretacije,
- zahtjeve u vezi sa podacima,
- pretpostavke,
- ograničenja,
- zahtjevi u vezi sa kvalitetom polaznih podataka,
- tip kritičnog ispitivanja (ukoliko postoji),
- tip i oblik informacije koja se zahtjeva za analizu.

Predmet analize se mora dobro i jednoznačno definirati da bi nivo dubine i detaljnosti provedene analize bili dovoljni za postizanje definiranog cilja.

## 5.4.2. INVENTAR ŽIVOTNOG CIKLUSA (LCI)

Inventar životnog ciklusa **LCI** (Life Cycle Inventory analysis) sadrži skupljanje podataka i postupke proračuna za brojčano iskazivanje važnih ulaza i izlaza sustava proizvoda. Ovi ulazi i izlazi mogu biti primjena izvora sirovina, energije i štetnih emisija u okolinu povezanu sa sustavom. Ovi podaci čine i ulaz za ocjenjivanje utjecaja životnog ciklusa.

**Sustav proizvoda** (slika 14) je skup elementarnih procesa i funkcija proizvoda spojenih tokovima materijala, energije ili informacija između pojedinih dijelova proizvoda, koji imaju jednu ili više definiranih funkcija.



Slika 14 Primjer sistema proizvoda za analizu zaliha u toku životnog ciklusa[12]

Skupljanje podataka i postupci proračuna svakog procesa obuhvaćenog u unutrašnjem dijelu granica sustava moraju biti prikazani. Tu se moraju sakupiti kvalitativni i kvantitativni podaci. Ovo čini popis važnih ulaza i izlaza sustava proizvoda. Postupci koji se koriste za sakupljanje podataka mogu ovisiti o ostalim dijelovima analize, kao što su cilj, primjena, itd.

Sakupljanje podataka je, u osnovi, značajan proces. Praktična ograničenja kod sakupljanja podataka se moraju procijeniti u predmetu I dokumentirati u izvještaju analize.

### 5.4.3. OCJENJIVANJE UTJECAJA ŽIVOTNOG CIKLUSA (LCIA)

Ako bilo koji komparativni sustav želi biti vjerodostojan, proizvodi moraju imati nekakvu brojčanu ocjenu. Taj pristup je prihvaćen u svim LCA alatima. Na temelju tih brojčanih vrijednosti se donosi ukupna ocjena štetnosti pojedine faze života proizvoda i omogućuje se usporedba s nekim drugim proizvodom ili nekom drugom fazom.

Ocjenjivanje utjecaja životnog ciklusa **LCIA** (Life Cycle Impact Assessment) je treća faza procjene utjecaja životnog ciklusa proizvoda. LCIA usmjerena je na procjenu doprinosa na udarne kategorije kao što su globalno zagrijavanje, zakiseljavanje i dr. Prvi korak je karakterizacija. Ovdje su izračunati potencijali utjecaja na temelju rezultata LCI. Sljedeći koraci su normalizacija i zadavanje težine. Normalizacija daje osnove za usporedbu različitih kategorija tipova utjecaja na okoliš (svi učinci moraju dobiti istu jedinicu). Zadavanje težine podrazumijeva dodjeljivanje težinskog faktora utjecaja za svaku kategoriju, ovisno o njejoj relativnoj važnosti

Pojedine aspekte utjecaja na okoliš je nemoguće izraziti točnim brojkama, recimo potrošenu energiju ili iskorištavanje prirodnih izvora, zato jer ne postoji sustav vrednovanja svih oblika energije koji se troše. Na primjer, nitko ne može izračunati koliko točno energije je potrošio radnik pri proizvodnji 1 kilograma nekog proizvoda, ili koliki je točno udio svjetske zalihe neke rude potrošen za pojedini proizvod. No može se približno ocijeniti međusobni odnos dva različita proizvoda i na taj način odlučiti koji zahtjeva manje energije ili materijala. Procjena utjecaja životnog vijeka proizvoda na okoliš se temelji na usporedbi različitih situacija i rješenja i odabiranja manje štetnih.

#### 5.4.4. INTERPRETACIJA ŽIVOTNOG CIKLUSA

Cilj interpretacije životnog ciklusa je analiza rezultata, ostvarenih zaključaka, objašnjenje ograničenja i pružanje preporuka na temelju dobivenih rezultata analize i izvještavanje o rezultatima interpretacije životnog ciklusa. Zadatak interpretacije životnog ciklusa je pružiti i jasno prihvatljivu ponudu i jedinstvenu prezentaciju rezultata analize LCA ili LCI, u skladu sa definiranim ciljem i predmetom analize. [12]

Interpretacijska faza životnog ciklusa u analizi LCA ili LCI se sastoji iz sljedećih elemenata:

1. Identifikacija značajnih problema zasnovana na rezultatima faza LCI i LCIA u LCA analizi.
2. Vrednovanje
3. Zaključci, preporuke i davanje izvještaja o značajnim problemima.

Definiranje cilja i predmeta i interpretacijska faza ocjenjivanja životnog ciklusa čine okvir analize, dok prethodne faze LCA (LCI, LCIA) daju informacije o sustavu proizvoda.

##### 1) Identifikacija značajnih problema

Identifikacija značajnih problema je izdvajanje onih rezultata dobivenih analizom koji u većoj mjeri odstupaju od pretpostavljanih granica unutar kojih je rezultat te analize zadovoljavajuć. Problemi izvojeni u ovom koraku su temelj za daljnji rad tj. poboljšanja na analiziranom proizvodu. To olakšava, kako određivanje bitnih i ekološko značajnih problema, tako i formiranje zaključaka i preporuka.

Cilj identifikacije je ostvariti strukturalni pristup ka naknadnom vrednovanju podataka, informacija i ustanovljavanje analiza.

Preporučuje se pored ostalog procijeniti :

- pojedine **parametre inventara** : emisije, izvori energije i materijala, otpad i slično,
- pojedine **proces**e, elementarne procese ili njihove grupe,
- pojedine **faze životnog ciklusa**,
- pojedine **indikatore u oblasti utjecaja**.

## 2) Vrednovanje

Cilj elementa vrednovanja je odrediti i povećati povjerenje i pouzdanosti rezultata analize, uključujući značajne probleme identificirane u okviru prvog elementa interpretacije. U toku vrednovanja moraju se osigurati sve informacije i podaci iz svih faza i njihova dostupnost interpretaciji. Podaci moraju biti potpuni jer oni osiguravaju da se ne izostave neki glavni, poznati aspekti. Na primjer, u slučaju proizvoda kod kojeg nije poznato raspolaganje sa otpadom, može se izvršiti uspoređivanje dvije mogućnosti. Uspoređivanje može voditi ka studiji faze raspolaganja sa otpadom ili ka zaključku, da razlika između dvije alternative nije značajna ili važna za zadani cilj i predmet.

Također, u ovom koraku je važno određivanje utjecaja raznih pretpostavki, metoda i podataka na rezultate. Uglavom se kontrolira utjecaj pretpostavki na identificirane značajne probleme. Kontrola utjecaja pretpostavki je uspoređivanje rezultata dobivenih na osnovu zadanih pretpostavki, metoda ili podataka sa rezultatima dobivenim na osnovu promijenjenih pretpostavki, metoda ili podataka. Osjetljivost pojedinog problema na pretpostavljene podatke može se nakon provedenih usporedbi prikazati u postocima promjene ili kao apsolutno odstupanje.

Potrebno je provjeriti da li se pretpostavke, metode, modeli i podaci, primjenjuju jedinstveno za vrijeme životnog ciklusa proizvoda ili u okviru nekoliko mogućnosti.

## 6. CES EDUPACK 2009

CES je programski alat koji predstavlja računalnu podršku pri odabiru materijala u procesu ekološki osviještenog konstruiranja. Ovaj računalni program je zamišljen kao detaljna baza podataka o svim materijalima i procesima obrade tih materijala koji se mogu koristiti pri konstruiranju nekog proizvoda.

Baza podataka podijeljena je na tri nivoa, koje korisnik odabire prilikom pokretanja programa. *Nivo 1* pogodan je za uvodno korištenje programa i pruža samo najosnovnije podatke o 70-ak najkorištenijih materijala i procesa. *Nivo 2* daje nešto šire informacije, ali još uvijek je ograničen na samo 100-tinjak najčešće korištenih materijala i procesa, dok *nivo 3* daje vrlo detaljne informacije o širokom spektru od preko 3000 materijala i procesa te se koristi za stvarne projekte.

Prilikom odabira nekog materijala iz baze podataka kojom ovaj program raspolaže, možemo vidjeti podatke o mnogim svojstvima tog materijala, kao na primjer: mehanička svojstva, toplinska svojstva, električna svojstva, optička svojstva, korozijska svojstva, itd. Osim toga, podaci o materijalu su povezani sa podacima o procesima koji se mogu upotrebljavati nad tim materijalom te najčešća područja primjene tog materijala. Tako odabirom materijala pomoću samo jednog klika mišom možemo saznati koji se sve procesi obrade mogu koristiti nad tim materijalom i za što se taj materijal koristi. Takve informacije uvelike mogu ubrzati proces konstruiranja.

Jedan alat unutar programa CES je posebno zanimljiv za analizu utjecaja životnog ciklusa proizvoda na okoliš. Eco audit tool je alat koji analizira proizvod kroz pet životnih faza i daje prikaz utjecaja na okolinu kroz potrošnju energije i emisiju CO<sub>2</sub>. Eco audit je alat u kojem je implementirana čitava baza podataka o materijalima i procesima kojom raspolaže programski paket CES. Pomoću unesenih podataka o nekom proizvodu od strane korisnika i podacima iz baze samog programa CES može izračunati potrošnju energije te emisiju CO<sub>2</sub> toga proizvoda u svim fazama životnog ciklusa proizvoda.

## 6.1. ECO AUDIT TOOL

Dva su tipa unosa podataka. Prvi skup podataka unosi korisnik. To su podaci o materijalima od kojih se sastoji proizvod, procesima obrade tih materijala, transportu materijala i proizvoda, uvjetima korištenja proizvoda (detalji o energiji i intenzivnosti korištenja). Podaci o energiji koju sadrže sami materijali i energiji potrebnoj za proces obrade su dobiveni iz baze podataka o karakteristikama materijala, a podaci o energiji i emisiji CO<sub>2</sub> prilikom transporta i korištenja proizvoda su također dobiveni iz tablica koje su implementirane u samom programu.

Dobiveni podaci su energija i emisija CO<sub>2</sub> svake faze životnog ciklusa proizvoda, prikazani kao dijagram i u formi tablice.

*Korak 1, Materijal i proizvodnja.* U ovom dijelu korisnik upisuje naziv komponente, količinu koja se nalazi u tm proizvodu, vrstu materijala, primarni proces oblikovanja komponente, udio recikliranog materijala u osnovnom materijalu, masu komponente te način zbrinjavanja komponente na raju životnog ciklusa. Odabirom materijala i procesa obrade omogućuje se programu da dohvati i sačuva podatke iz svoje baze o energiji i emisiji CO<sub>2</sub> za odabrani materijal i proces obrade po kilogramu tog materijala. Kada se upiše i masa komponente program lako pomnoži energiju i CO<sub>2</sub> po kilogramu s masom i dobije se ukupna energija potrebna za obradu te komponente i ukupna emisija CO<sub>2</sub> prilikom obrade te komponente. Ako se proizvod kojeg se analizira sastoji od više komponenti tada postupak treba ponoviti za svaku komponentu a ukupna energija i emisija CO<sub>2</sub> se dobiju zbrajanjem svih komponentata.

*Korak 2, Transport.* Ova faza omogućuje unos podataka o transportu dijelova od mjesta proizvodnje do mjesta prodaje. Omogućen je unos podataka za više faza transporta (npr. Brodom pa kamionom) . Korisnik unosi naziv svake faze transporta, iz padajućeg izbornika odabire sredstvo transporta te na kraju upisuje udaljenost u kilometrima. Program nakon izbora prijevoznog sredstvaja dohvaća iz baze podatke o energiji i emisiji CO<sub>2</sub> za pojedino prijevozno sredstvo po toni i kilometru. Nakon upisane udaljenosti program lako izračuna ukupnu energiju i emisiju CO<sub>2</sub> za fazu transporta.

*Korak 3, Faza korištenja.* U ovoj fazi postoje dva glavna izbora načina korištenja proizvoda. Korisnik odabire da li je proizvod statičan ili mobilan.

Statični proizvodi su oni koji su uglavnom smješteni na jednom mjestu i prilikom korištenja koriste neki vid energije. Takvi su skoro svi kućanski aparati ili industrijski strojevi. Za takve proizvode korisnik mora unijeti mjesto korištenja proizvoda jer pojedine zemlje imaju drugačije propise za korištenje raznih oblika energije (npr. U SAD-u je električna mreža 320 V i 60 Hz). Potrebno je iz padajućeg izbornika odabrati oblik energije koju proizvod koristi, snagu proizvoda, koliko dana u godini se koristi i koliko sati dnevno. Uzimajući u obzir sve unesene podatke program lako izračuna energiju i emisiju CO<sub>2</sub> tijekom korištenja proizvoda.

Mobilni proizvodi su oni proizvodi koji su dio nekog prijevoznog sredstva. Proizvodi koji sudjeluju u sustavu transporta svojom masom povećavaju masu tog sredstva transporta i samim time povećavaju potrebnu energiju i emisiju CO<sub>2</sub>. Korisnik kod ove opcije mora iz padajućeg izbornika odabrati vrstu prijevoznog sredstva prema veličini i načinu pogona. Također, potrebno je upisati koliko dana u godini i koliko kilometara dnevno napravi to prijevozno sredstvo kojeg je proizvod dio. Program na temelju masenog udjela proizvoda u tom prijevoznom sredstvu izračuna potrebnu energiju i emisiju CO<sub>2</sub>.

Nakon upisanih svih traženih podataka korisnik odabire prikaz rezultata te se prikazuje dijagram sa svakom fazom životnog ciklusa (materijal, proizvodnja, transport, korištenje, zbrinjavanje) te potrebnom energijom i emisijom CO<sub>2</sub> kroz svaku fazu. Također, tablice sa detaljnim prikazom po svakoj komponenti u svakoj fazi su također dane tako da se može usporediti utjecaj pojedinih komponenti samog proizvoda.



**ACTION**

● Enter product name and life

**Product definition**

Product name

Product life  years

**1. Material and manufacture**

Component name	Material	Process	Mass (kg)
Component 1	Zinc alloys	Casting	

Materials universe

- Ceramics and glasses
- Hybrids
- Metals
  - Aluminum alloys
  - Titanium alloys
  - Zinc alloys.....
- Polymers

Processes:

- Casting
- Vaporization
- Forging / rolling
- Powder methods

Component 2

Component 3

**2. Transport**

Stage name	Transport type	Distance (km)
Stage 1	Sea freight	5500

Transport options:

- Sea freight
- River / Canal freight
- Rail freight
- 32 tonne truck
- 14 tonne truck
- Light goods vehicle
- Air freight - short haul
- Air freight - long haul
- Helicopter (Eurocopter AS 350)

Stage 2

Stage 3

**ACTION**

● Select "Static" if product does not move

● Select energy in and out

● Enter power in chosen units

● Enter usage pattern

**3. Use phase : Static mode**

Product uses the following energy:

Energy input and output

Power rating

Usage  days per year

Usage  hours per day

- Electric to thermal
- Electric to mechanical
- Fossil fuel to thermal
- Fossil fuel to mechanical

**3. Use phase : Mobile mode**

Product is part of or carried by a vehicle:

Fuel and mobility type

Distance per day

Usage  days per year

- Diesel - ocean shipping
- Diesel - coastal shipping
- Diesel - rail
- Diesel - heavy goods vehicle
- Diesel - light goods vehicle
- Diesel - family car
- Gasoline - family car
- LPG - family car
- Gasoline-electric hybrid car
- Electric - family car
- Gasoline - super-sport and SU
- Kerosene - short haul aircraft
- Kerosene - long haul aircraft

**4. Report**

Display

- Energy
- CO<sub>2</sub>

Include recycle fraction

Slika 15 Unos podataka u CES Eco Audit tool [13]

## 7. ECO INDICATOR 99

LCA metoda je dobar način procjene utjecaja proizvoda na okolinu te ju konstruktori često koriste. No, unatoč svim dobrim i korisnim karakteristikama LCA metode, ovakav način procjene utjecaja proizvoda na okolinu je skup i zhtijeva puno vremena. Konstruktori moraju donijeti puno odluka i misliti na puno stvari kada konstruiraju proizvod te zbog toga okušavaju izbjeći svako nepotrebno trošenje vremena. Nadalje, rezultati dobiveni LCA metodom su prilično nejasni i indirektni te se iz njih mora interpretirati konkretan zaključak.

Eco-indicator 99 je metoda koja je razvijena specijalno da bi se u konkretnijem obliku prikazali rezultati LCA metode. Ova metoda je dokazano olakšala posao konstruktora utoliko što kao rezultat daje konkretan broj-eko indikator- koji je karakterističan za analizirani proizvod s aspekta utjecaja na okoliš. Pomoću konkretnih rezultata koji su prikazani kao brojevi (eko-indikator) puno je lakše konstruktoru usporediti dva proizvoda ili dvije različite izvedbe proizvoda.

## 8. ZAKLJUČAK

Utjecaj životnog vijeka proizvoda na okoliš je karakteristika proizvoda koja u posljednje vrijeme postaje sve bitnija konstruktorima kada konstruiraju novi proizvod ili poboljšavaju postojeći. Pored mnogo drugih bitnih zahtjeva na proizvod, ekološka prihvatljivost je nešto što je postalo nužno za svaki proizvod koji misli biti konkurentan na tržištu. Posao konstruktora time postaje još teži te se zbog toga sve više koriste raznim metodama koje omogućuju analizu utjecaja proizvoda na okoliš. Zahvaljujući takvim analizama moguće je izdvojiti dominantne faze životnog ciklusa proizvoda ili usporediti dvije izvedbe nekog proizvoda te samim time usmjeriti eventualna poboljšanja na tu fazu.

U ovom su radu analizirane dvije izvedbe pedalnog sklopa za osobne automobile tvrtke Cimos d.d. Dok jedna izvedba uglavnom koristi čelik za izradu svojih komponenti, druga izvedba koristi više polimernih materijala. Nakon provedene analize dobiveni su brojčano prikazani rezultati koji pokazuju utjecaj proizvoda na okoliš u svakoj fazi životnog ciklusa. Nakon usporedbe rezultata lako je izdvojiti fazu koja najviše utječe na okoliš te također i izvedbu koja više utječe na okoliš.

S obzirom da je analiza provedena koristeći dvije različite metode, rezultati dobiveni od obje metode su međusobno uspoređeni i daju jednak zaključak.

Potrebno je napomenuti da su tokom analize korišteni podaci o proizvodu koji su osigurani od strane tvrtke Cimos d.d., a oni podaci koji nisu bili dostupni su pretpostavljeni. Pretpostavke ne utječu bitno na krajnji ishod analize.

## 9. LITERATURA

- [1.] Ashby, M.; Materials and environment, Oxford OX2, 2009
- [2.] [http://www.rsc.org/images/LCA\\_20100215\\_tcm18-97943.pdf](http://www.rsc.org/images/LCA_20100215_tcm18-97943.pdf)
- [3.] <http://www.life-cycle.org>
- [4.] <http://www.setac.org/lca.html>
- [5.] <http://www.unepie.org/pc/sustain/lcinitiative>
- [6.] [http://www.ecosmartconcrete.com/enviro\\_co2.cfm](http://www.ecosmartconcrete.com/enviro_co2.cfm)
- [7.] <http://pollitika.com/sto-prosjecnom-covjeku-u-zivotu-znaci-jedna-tona-co2>
- [8.] [http://www.zelena-lista.hr/UserFiles/Image/Globalno\\_Zatopljenje/22-Staklenicki\\_Efekt.jpg](http://www.zelena-lista.hr/UserFiles/Image/Globalno_Zatopljenje/22-Staklenicki_Efekt.jpg)
- [9.] [http://www.nist.gov/mel/msid/dpg/images/ramnew\\_1.jpg](http://www.nist.gov/mel/msid/dpg/images/ramnew_1.jpg)
- [10.] <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2000L0053:20050701:EN:PDF>
- [11.] de Jong, T.P.R.; Design for recycling
- [12.] Hodolič, Badida, Majernik, Šebo; Mašinstvo u inženjerstvu zaštite životne sredine; Fakultet tehničkih nauka, 2003
- [13.] <http://www.grantadesign.com/education/software.htm>