

# LCA analiza staklene boce

---

**Belošević, Dario**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2015**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University North / Sveučilište Sjever**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:949791>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-28**



*Repository / Repozitorij:*

[University North Digital Repository](#)





# Sveučilište Sjever

**Završni rad br. 159/PS/2015**

## **LCA analiza staklene boce**

**Dario Belošević, 0414/336**





# Sveučilište Sjever

**Odjel za proizvodno strojarstvo**

**Završni rad br. 159/PS/2015**

## **LCA analiza staklene boce**

**Student**

Dario Belošević, 0414/336

**Mentor**

Damir Mađerić, dipl. ing.

## Zadatak završnog rada

## ZAHVALA

Zahvaljujem svom mentoru, dipl.ing. Damiru Mađeriću, na pruženoj pomoći, korisnim savjetima i informacijama potrebnim za izradu ovog rada.

Isto tako, zahvaljujem tvrtci Vetropack straža na ustupljenim materijalima i korisnim informacijama za izradu ovog rada.

Također, zahvaljujem svojoj obitelji i djevojci na pruženoj podršci i pomoći tijekom cjelokupnog školovanja.

## **SAŽETAK:**

Tema ovog rada je procjena utjecaja životnog vijeka proizvoda na okoliš. Nadalje, uz kratak pregled ideja i koncepta ekološke proizvodnje, rad detaljno opisuje primjenu LCA (*Life Cycle Assessment*) analize kao analitičkog alata i tehnike za utvrđivanje i procjenu ukupnog djelovanja proizvoda na okoliš tijekom izrade, korištenja i odlaganja proizvoda. Osim toga, dan je i pregled programskih sustava koji se primjenjuju u okviru procjenjivanja životnog ciklusa proizvoda i procesa na bazi dostupnih podataka.

U skladu sa zadatkom rada, na kraju je na konkretnom primjeru pokazan način korištenja LCA metode, te su na osnovu dobivenih informacija izvedeni odgovarajući zaključci.

**Ključne riječi:** LCA, zaštita okoliša, globalno zatopljenje

# SADRŽAJ:

1. UVOD.....	10
2. UTJECAJ ČOVJEKA NA OKOLIŠ.....	11
2.1. Zagađenje okoliša.....	12
2.2. Posljedica ljudskog djelovanja.....	13
3. ŽIVOTNI CIKLUS PROIZVODA.....	18
3.1. Kraj života proizvoda.....	19
3.2. Kraj prvog životnog ciklusa.....	20
4. LCA - LIFE CYCLE ASSESSMENT.....	23
4.1. Općenito o LCA.....	23
4.2. Kratka povijest LCA.....	24
5. FAZE PROUČAVANJA LCA.....	27
5.1. Definiranje svrhe i opsega provedbe LCA analize.....	28
5.2. Faza popisivanja i analiziranja relevantnih podataka.....	28
5.3. Određivanje utjecaja na okoliš.....	32
5.4. Interpretacija.....	37
6. OGRANIČENJA LCA METODE.....	39
7. LCA RAČUNALNE APLIKACIJE.....	40
7.1. SimaPro računalna aplikacija.....	40
8. LCA NA ODABRANOM PRIMJERU.....	44
8.1. Vetropack straža.....	44
8.2. Proces proizvodnje.....	45
8.3. Priprema i planiranje LCA analize.....	45
8.4. Rezultati LCA analize.....	46
9. ZAKLJUČAK.....	50
10. LITERATURA.....	52



## **KORIŠTENI SIMBOLI:**

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>- sulfatna kiselina

NH<sub>4</sub>- sulfatni aerosol

CH<sub>4</sub>- metan

CO<sub>2</sub>- ugljik dioksid

SO<sub>2</sub>- sumporni dioksid

NO<sub>x</sub>- dušikovi oksidi

NH<sub>3</sub>- amonijak

O<sub>3</sub>- ozon

Ca- kalcij

Mg- magnezij

Al- aluminij

CFC- freon

NO<sub>3</sub>- nitrat

NH<sub>4</sub><sup>+</sup>- amonijev kation

## **KORIŠTENE KRATICE:**

LCA - LIFE CYCLE ASSESSMENT

UN- Ujedinjeni narodi

REPA - Environmental Profile Analysis

EPA - Environmental Protection Agency (Agencija za zaštitu okoliša  
vlade SAD-A)

SETAC - Society of Environmental Toxicology and Chemistry

UNEP - The *United Nations Environment Programme*

LCI - Life Cycle Initiative

LCIA- Life Cycle Impact Assessment- određivanje utjecaja na okoliš

IPCC- Međuvladina komisija Ujedinjenih naroda za klimatske promjene

PAN- Peroksiacetalnitrat

# 1. UVOD

Okoliš i ljudska civilizacija su dva kompleksna sustava koji međusobno djeluju na Zemlji već tisućama godina. Posljedice koje proizlaze kada dva kompleksna sustava djeluju jedan na drugog teško su predvidive. Međutim, jedna posljedica, koja je sve očitija u posljednje vrijeme, predstavlja 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 nekoliko godina. Jedan od takvih utjecaja je problem globalnog zatopljenja. Uništavajući okoliš i nepovratno iscrpljujući prirodne resurse i bogatstva nanosimo štetu sebi samima. Nažalost, često toga postanemo svjesni tek kad je prekasno.

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 moramo razumjeti izvore, načine, pravila i posljedice pravilnog konstruiranja proizvoda s aspekta utjecaja na okoliš. Upravo je zadaća konstruktora da sve to ima na umu za vrijeme konstrukcije proizvoda.

## 2. UTJECAJ ČOVJEKA NA OKOLIŠ

Razvoj industrije, uporaba ugljena u proizvodnji energije u 18. stoljeću, uporaba nafte i naftnih derivata, isto kao i razvoj kemije i primjena kemijskih tvari u industriji, te razna otkrića, krajem 19. i kroz cijelo 20. stoljeće uvelike su doprinijeli onečišćenju okoliša u vidu raznih emisija u zrak, vodu i tlo. Kroz povijest, općenito, interes za zaštitom okoliša bio je gotovo nikakav. S druge strane, interes za profitom je prevladavao te je bio iznad svijesti o potrebi očuvanja okoliša i brige za budućnost. U prošlom stoljeću najveći utjecaj čovjeka na okolinu dolazio je iz razvijenih sredina, a danas je to problem cijelog svijeta.

Razlozi tome su sljedeći:

- **Konstantno povećanje opsega ljudskog djelokruga.**

Posljednjih 40-ak godina svjedoci smo nevjerojatnog povećanja životnog standarda u razvijenim zemljama. Stupanj industrijalizacije u konstantnom je rastu, a kontinuiran rast ekonomije čini sve veći jaz između razvijenih zemalja i zemalja u razvoju. U isto vrijeme broj stanovnika eksponencijalno raste i prema istraživanjima UN-a očekuje se da će do 2050. godine njegov broj premašiti iznos od 11 milijardi. Kao rezultat takvog globalnog rasta proizvodnje generiraju se i sve veći negativni utjecaji na okoliš.

- **Korištenje velikog broja novih, za prirodu nepoznatih supstanca.**

Posljednjih godina prošlog stoljeća došlo je do vrtoglavog rasta velikog broja kemikalija u sveopćoj uporabi. Unutar nekoliko desetljeća svijet kemikalija baziran na prirodnim tvarima zamijenjen je tvarima na bazi petrokemijskih elemenata, a one prouzrokuju neželjene učinke po okoliš.

- **Širenje ljudskih utjecaja na dotada nekorištenim dijelovima Zemlje.**

Ljudske djelatnosti svojim širenjem na dotada netaknutim područjima donose sa sobom i sve njihove efekte negativne po okoliš. Takvog zagađenja nije pošteđena

ni sama unutrašnjost Zemlje iz koje čovjek crpi ugljen, naftu, plinove i druge sirovine.

## 2.1. Zagađenje okoliša

Osnovne vrste zagađenja okoliša su:

### a) Emisije štetnih plinova

- lokalnog utjecaja ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ , CO, ...)
- toksični plinovi
- staklenički plinovi ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$ , CFC-11, CFC-12,...)
- plinovi štetni za ozonski omotač (trikloretilen, metilkloroform, haloni, ...)

### b) Otpad

- opasni industrijski otpad (azbest, kemikalije, ...)
- neopasni otpad (gradsko smeće)

### c) Ostalo

- utjecaj izgradnje i rada industrijskih postrojenja na biljke i životinje
- buka, itd.

Zagađivanje okoliša navedenim tvarima odvija se kroz tri vrste putova:

1. Emisijom štetnih tvari u zrak
2. Emisijom štetnih tvari u vodu
3. Emisijom štetnih tvari u tlo

TVARI	IZVORI
CO	Transportni sustavi i procesna industrija. Izgaranja drva, dim od cigareta, šumski požari.
NO <sub>x</sub>	Izgaranje goriva u elektranama, motornim vozilima, industrijskim kotlovima. Komercijalni i stambeni izvori izgaranja goriva.
SO <sub>2</sub>	Izgaranje fosilnih goriva (benzin, nafta, prirodni plin) u rafinerijama nafte , termoelektranama.
Aromatični ugljikovodici (benzen, toluen)	Izvori uključuju svako izgaranje goriva, ljepila, otapala. Glavni izvori su automobili.
Ozon	Automobilski ispušni plinovi, emisije iz industrijskih tvornica, kemijska otapala, benzinske pare.
Koloidni sustavi	Dim, pepeo i čađa iz industrija.
Olovo	Tvornice obrade metala, spalionice, proizvođači baterija.

Tablica 2.1.1. Izvori supstanci koje zagađuju okolinu [1]

## 2.2. Posljedica ljudskog djelovanja

Svojim neodgovornim ponašanjem prema prirodi čovjek je, namjerno ili ne, naučio da je Newton oduvijek bio u pravu. Da svaka akcija ima i svoju reakciju svakim nas danom podsjećaju sve očitije, gotovo opipljive promjene koje se događaju oko nas, a čiji smo krivci u velikoj mjeri mi sami. Većina posljedica takvog nepromišljenog ljudskog djelovanja nose negativne posljedice po samoj prirodi ali i po zdravlju ljudi. Neke od njih dane su u tablici 2.2.1.

Primarni polulant	Sekundarni polulant	Vrsta utjecaja
Ugljični dioksid	-	globalno zagrijavanje.
Metan	ozon	smog, globalno zagrijavanje.
Dušik suboksid	-	globalno zagrijavanje.
Sumpor dioksid	sulfatna kiselina, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> sulfatni aerosol, NH <sub>4</sub>	utjecaj na zdravlje, kiselo taloženje, globalno zagrijavanje.
Dušik oksid	dušik dioksid, nitratna kiselina, nitratni aerosol, ozon.	Utjecaj na zdravlje, nitrifikacija, kiselo taloženje.
Čestice	-	utjecaj na zdravlje, taloženje.

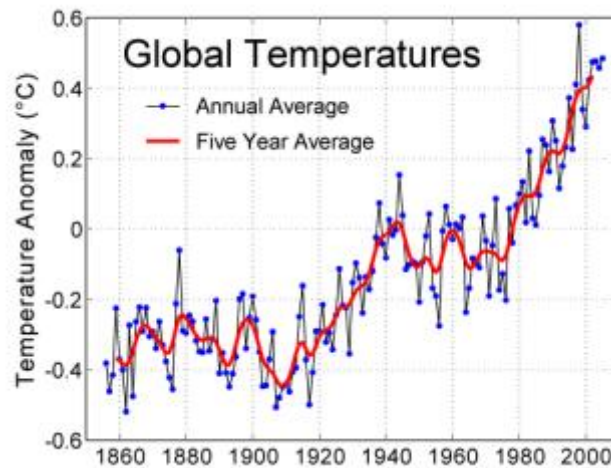
**Tablica 2.2.1.** Posljedice zagađivanja [1]

Mehanizmi glavnih i konstantno rastućih utjecaja biti će ukratko prikazani u narednom tekstu.

- **Globalno zagrijavanje**

Globalno zagrijavanje opisuje procjenu porasta prosječne temperature zraka na površini Zemlje i oceana od početka 20. stoljeća te nastavka tog procesa u bližoj budućnosti. Prema nekim istraživanjima, globalno-prosječna površinska temperatura je porasla za oko  $0,74 \pm 0,18$  °C u toku perioda od 100 godina (1905-2005) [2]. Međuvladina komisija Ujedinjenih nacija za klimatske promjene (IPCC), koja svoje stavove objavljuje u godišnjim izvještajima, smatra da su antropogeni plinovi, koji prouzrokuju efekt staklenika najodgovorniji za najveći dio porasta temperature od sredine 20. stoljeća do danas. Efekt staklenika otkrio je Joseph Fourier 1824.godine, a prvi ga je kvantitativno istražio Svante Arrhenius 1896.godine. To je proces putem kojeg se, emisijom i apsorpcijom infracrvenih zraka i atmosferskih plinova, zagrijava donji dio atmosfere i površine planete. Tako IPCC smatra da prirodni staklenički plinovi imaju značajan efekt zagrijavanja od oko 33 °C, bez kojih bi Zemlja bila nenastanjiva. Glavni staklenički plinovi su vodena para, koja uzrokuje oko 36-70% od

stakleničkog efekta (ne uključujući oblake), ugljik dioksid ( $\text{CO}_2$ ), koji uzrokuje 9-26% efekta, metan ( $\text{CH}_4$ ), koji uzrokuje 4-9%; te ozon, koji uzrokuje 3-7% ukupnog efekta staklenika. [1]



Slika 2.2.1 Temperaturne anomalije kroz posljednjih 150 godina [1]

Zadnjih godina čovječanstvo ispušta u atmosferu preko 8 milijardi tona  $\text{CO}_2$  godišnje. Jedan dio  $\text{CO}_2$  apsorbiraju šume i oceani (koji tako postaju kiseliji), a ostatak se gomila u atmosferi, pojačavajući tako efekt staklenika. Staklenički plinovi ostaju u atmosferi dugo – vjerojatno desetljećima. Od početka industrijske revolucije, prije 250 godina, količina  $\text{CO}_2$  u atmosferi povećala se 35%, a metana 148%. Kako je sastav zemljine atmosfere iz davne prošlosti prilično dobro poznat iz fosilnih uzoraka i iz uzoraka zraka iz mjehurića zarobljenih u ledu na polovima, pokazalo se da su  $\text{CO}_2$  i metan u današnjoj atmosferi, na najvišoj razini, barem u posljednjih 650.000 godina. [2]

Neke od mogućih posljedica globalnog zatopljenja su :

- dizanje razina mora i oceana zbog topljenja ledenjaka i glečera biti će prema nekim procjenama od 18-59 cm do kraja 21. stoljeća
- povećanje broja ekstremnih vremenskih događaja (više oluja, valova vrućina, poplava...)
- povećanje ozbiljnosti ekstremnih vremenskih događaja (razornije oluje, dugi valovi vrućina, veće poplave, ...)



- topljenje glečera izazvati će isprva povećanje dotoka, a zatim nestašice vode u nekim dijelovima svijeta
- toplija okolina pogodovati će širenju raznih bolesti i time znatno utjecati na javno zdravlje.

- **Zakiseljavanje okoliša**

Zakiseljavanje je prepoznato kao veliki ekološki problem još tijekom kasnih 60-ih godina. Glavni spojevi koji pridonose zakiseljavanju okoliša su sumporni dioksid ( $\text{SO}_2$ ) i dušikovi oksidi ( $\text{NO}_x$ ) nastali uglavnom izgaranjem fosilnih goriva, te amonijak ( $\text{NH}_3$ ) koji nastaje iz poljoprivrednog sektora. Kada dospiju u atmosferu, ovi polutanti se transformiraju, transportiraju sve dok ne dospiju na zemljinu površinu. Zakiseljavanje šteti ekosustavima zemlje, vode i šume, a također djeluje korozivno na umjetne materijale. Zbog atmosferskog transporta na velike udaljenosti, zakiseljavanje je problem više regionalnog nego lokalnog karaktera. Ljudsko djelovanje prouzročilo je promjenu omjera različitih plinova i tvari u atmosferi, što je rezultiralo promjenom kiselosti padalina. Ova pojava šira je od tzv. kiselih kiša, naziv kojim se u javnosti ovaj problem najčešće naziva. Pravilniji naziv je zakiseljavanje ili kiselo taloženje.

Dva su načina antropogenog zakiseljavanja okoliša:

1. mokri - kiše, magla, oblaci
2. suhi - česticama (sulfatne i nitratne soli)

Utjecaji kiselih kiša:

- izravno zakiseljavanje (korozija materijala, oštećenje bilja)
- ispiranje Ca i Mg iz tla
- akumulacija sumpora i dušika u tlu
- oslobađanje Al iz prirodnih glina – alumosilikata

Kao mjera smanjenja kiselosti unosi se vapnenac u vodeni ekosustav.

- **Obogaćivanje tla hranjivim tvarima**

Obogaćivanje tla hranjivim tvarima posljedica je emisija tvari koje se koriste u različitim aktivnostima. Neke od njih su:

- $\text{NO}_3$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  - višak navedenih spojeva posljedica je pretjeranog korištenja umjetnih gnojiva u poljoprivredi
- dušični oksidi – posljedica su sagorijevanja fosilnih goriva.

Posljedica viška navedenih tvari u prirodi je pretjerani rast određenih biljaka na štetu ostalih, odnosno dolazi do narušavanja prirodne ravnoteže.

- **Stvaranje fotokemijskog smoga**

Fotokemijski smog nastaje reakcijom sunčevog zračenja sa dušikovim oksidima (uglavnom NO) i lakohlapljivim organskim spojevima. Navedeni spojevi najčešće su produkti sagorijevanja fosilnih goriva. Rezultirajuća mješavina se sastoji od više od 100 spojeva među kojima su najvažniji ozon( $\text{O}_3$ ), peroksiacetalnitrat (PAN), dušikovi oksidi, aldehidi, ketoni i drugi.

Posljedice fotokemijskog smoga su: korozija metala, ubrzano starenje materijala, smanjenje vidljivosti, iritacija očiju i dišnog sustava, zakiseljavanje tla. Sama pojava fotokemijskog smoga vrlo je vidljiva, gotovo opipljiva što je i prikazano na slici 2.2.2.



**Slika 2.2.2** Smog u Lianyungang, Kina [3]

### 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“). Nadalje, proizvod se distribuira do krajnjih korisnika koji ga i koriste („zrelost“). Na kraju životnog ciklusa proizvoda proizvod se odlaže u otpad ili u proces recikliranja („smrt“). Na slici 3.1. 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 relativno dobrom stanju.



Slika 3.1. Prikaz životnog ciklusa materijala [4]

S povećanjem broja ljudi te povećanjem učestalosti odbacivanja starih proizvoda i mijenjanja s novim, više materijala prolazi kroz industrijski sistem i na kraju biva odbačen 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 rastućeg otpada. Na otpad treba gledati drugačije, kao izvor. Otpad sadrži materijale i energiju. Kao što znamo, sve više ispravnih uređaja završava u otpadu i mnogi dijelovi ako ne i cijeli uređaji se mogu ponovo koristiti. Ta činjenica može biti od velike koristi.

### **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 postoji nekoliko vrsta života proizvoda:

- Fizički život, označava vrijeme proizvoda dok se ne pokvari 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. Kraj prvog 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. Kao prvo, otpad treba sortirati na izgorive i neizgorive materijale. Nadalje, izgaranje mora biti izvedeno u posebnim uvjetima kako bi se prilikom izgaranja spriječilo stvaranje otrovnih produkata 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 usporedbi s potpunom zamjenom proizvoda energetski učinkovitije. Ponekad proizvod bacamo samo zbog jednog malog dijela koji ne radi ili više ne zadovoljava naše potrebe, no bilo bi puno učinkovitije i bolje za okoliš kad bi se određeni dio mogao samo zamijeniti. 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 prethodnom 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 filtri.

## **4. LCA - LIFE CYCLE ASSESSMENT- PROCJENA ŽIVOTNOG VIJEKA PROIZVODA**

Porastom svijesti o zaštiti okoliša, razne industrije procjenjuju kako njihove aktivnosti na to utječu. Mnoga poduzeća su se iz tog razloga okrenula "zelenom" poslovanju.

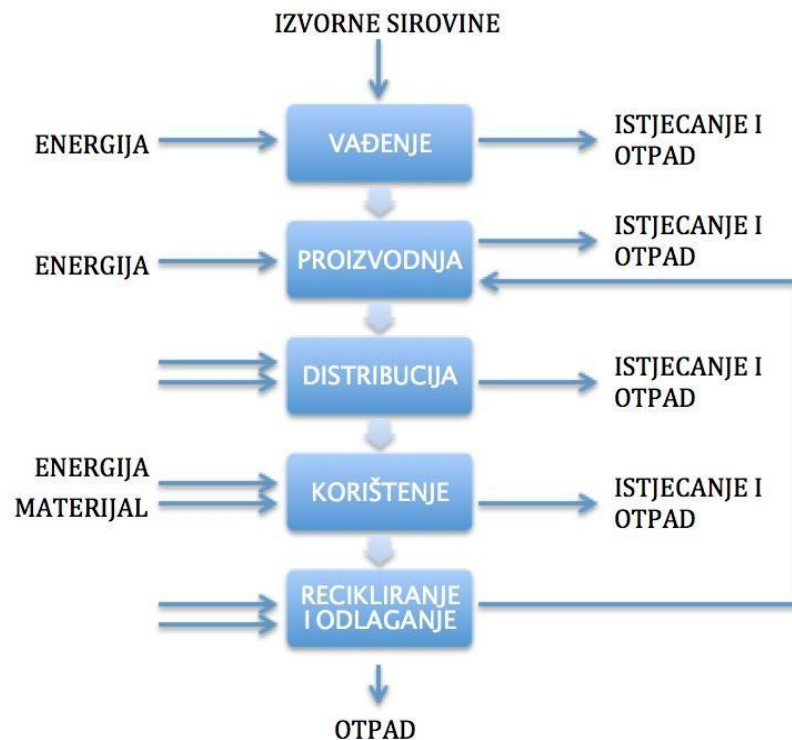
Industrijska ekologija izučava međudjelovanje različitih sustava kao i djelovanje između industrijskih i ekoloških sustava na lokalnim, regionalnim, državnim i globalnim razinama sustava. Smatra se potencijalnim "kišobranom" za različite strategije održivog razvoja kojima se služe pojedinci, poduzeća i vlade u smislu smanjenja industrijskih djelovanja na okoliš: smanjenje onečišćenja, minimiziranje otpada, umanjeње izvora, ekološko gospodarenje ukupnom kvalitetom i čista proizvodnja.

Neki od sistematskih alata su: procjena ciklusa trajnosti proizvoda (LCA) zajedno s projektiranjem za ciklus trajnosti proizvoda (LCD).

### **4.1. Općenito o LCA**

Procjena životnog ciklusa proizvoda (LCA) je tehnika za utvrđivanje i procjenu ukupnog djelovanja na okoliš: izrade, korištenja i odlaganja proizvoda. To je alat za sustavno vrednovanje ekoloških aspekata proizvoda ili usluga sustava kroz sve faze njegovog životnog ciklusa.





**Slika 4.1** Ciklus trajnosti proizvoda

Procjena ciklusa trajnosti proizvoda naziva se još i pristup "od kolijevke do groba" ("cradle- to-grave"). Takav pristup započinje od samog uzimanja sirovine iz okoliša, proizvodnje, distribucije, korištenja i na samom kraju vraćanja materijala natrag u okoliš (Slika 4.1). Omogućava analizu utjecaja na okoliš koji dolaze od svih uključenih stadija. Kontrolnom matricom utvrđuju se stadiji procjene životnog ciklusa i vrste djelovanja na okoliš koje treba uzeti u obzir. Često uključuje i utjecaje koji nisu uzeti u obzir u tradicionalnim analizama, kao što su primjerice izvlačenje sirovina, transport materijala itd. Upravo zbog uključivanja svih utjecaja, LCA nudi sveobuhvatan pogled na ekološke aspekte proizvoda ili procesa.

## 4.2. Kratka povijest LCA

LCA ima svoje početke u 60tim godinama prošlog stoljeća u SAD-u. Zabrinutost zbog spoznaje o ograničenosti prirodnih izvora sirovina i energije potakla je interes za pronalaskom načina učinkovitog praćenja potrošnje, ali i predviđanja situacije u budućnosti. Među prvim analizama koje su rađene bila je ona za Coca Colu (1969.), u svrhu procjene ekološke prihvatljivosti različitih tipova

ambalaže. Druge tvrtke i u SAD-u i u Europi provodile su slične analize. U to vrijeme, mnogi dostupni izvori bili su uzimani iz onih javno dostupnih kao što su vladini dokumenti, tehnički spisi, ali točni industrijski podaci nisu bili dostupni. Metoda kvantificiranja korištenih resursa (energije i materijala) i generiranje otpada, korištena u SAD-u, bila je poznata kao REPA. U isto vrijeme u Europi se razvijala slična metoda zvana Ecobalance.

U periodu od 1970. do 1975. razvijeni su standardni protokoli, odnosno metodologije za provedbu analize. Provodili su se u više faza, a sadržavali su niz pretpostavki, koje će kasnije biti revidirane od strane EPA i predstavnika industrije, što će rezultirati evoluiranjem najkvalitetnijih postupaka.

Početakom 80 – tih, počinje rasti interes za procjenu utjecaja raznih proizvoda, procesa i usluga na okoliš, te se u nekim Europskim zemljama provode prve LCA analize. Također su se odnosile na ekološku prihvatljivost raznih tipova ambalaže. Problem koji se tada pojavio bio je vezan uz raznovrsnost baze podataka i metoda koje su se koristile. Rezultati su zbog toga bili teško usporedivi i uglavnom nisu zadovoljavali. Upravo zbog toga javlja se potreba za razvojem sistematičnijeg pristupa koji će imati jedinstvenu bazu podataka i jedinstvenu metodu procjene životnog ciklusa proizvoda.

Od kraja 80 – tih pa do danas, zbog sve veće zabrinutosti za okoliš, nezaustavljivo raste interes za LCA metodom, te nalazi primjenu u različitim područjima ljudskih djelatnosti (politika, proizvodnja, itd.).

Zabrinutost zbog nepravilne uporabe LCA metode, 1991. godine potaknulo je međunarodno udruženje za toksikologiju okoliša i kemiju SETAC da osnuje međunarodni forum s ciljem stvaranja jedinstvene metodološke osnove za provedbu LCA analize. Na radionici u Sesimbri. 1993. godine, definirane su smjernica za provođenje LCA analize, koje su objavljene u izvještaju s tog skupa, pod nazivom: *"Guidelines for Life – Cycle Assessment: A Code of Practice"*.

Sve je to rezultiralo, 1997. godine, razvojem LCA standarda u okviru Internacionalne organizacije za normizaciju (ISO) serije 14000. LCA metoda se time promaknula u vrlo moćan alata za procjenu utjecaja na okoliš.

Zaduženi za Program Ujedinjenih naroda za okoliš UNEP i SETAC pokrenuli su, 2002. godine, međunarodno partnerstvo, poznat kao LCI.

## 5. FAZE PROUČAVANJA LCA

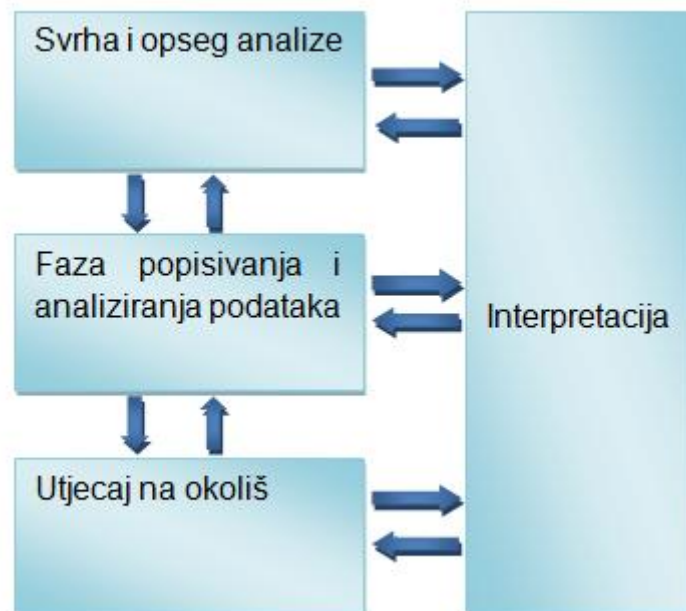
LCA je sistematičan proces u fazama koji se sastoji od 4 komponente (Slika 5.1.):

**Svrha i opseg** (*Goal and Scope Definition*)- definiranje proizvoda ili usluge koji će se ocjenjivati, definirati kontekst u kojem će se procjena raditi, odrediti granice i koji utjecaji će biti ispitani ovom procjenom;

**Faza popisivanja i analiziranja podataka** (*Inventory analysis*) - pregled energije i sirovina koje se koriste, ali i emisija u atmosferu, vodu i tlo;

**Određivanje utjecaja na okoliš** (*Impact assessment*) - procjena potencijalnih ljudskih i ekoloških učinaka na uporabu energije, vode i materijala, te izlazi u okoliš, definirani u prethodnom koraku;

**Interpretacija** (*Interpretation*) - vrednovanje rezultata iz prethodna dva koraka i utjecaj na odabir povoljnih proizvoda, procesa ili usluga koji će imati manji štetni utjecaj. [1]



Slika 5.1 Faze LCA

Svaka od faza biti će opisana u kratkim crtama u daljnjem tekstu.

## 5.1. Definiranje svrhe i opsega provedbe LCA analize

Definiranje svrhe je prvi korak prema sigurnoj i točnoj provedbi LCA analize. Najvažnije stavke prilikom definiranja svrhe su:

- problemi koji zahtijevaju rješenja u najkraćem roku,
- precizan opis proizvoda, njegovog životnog ciklusa i njegove svrhe postojanja,
- u slučaju usporedbe proizvoda važno je definirati komparativne baze podataka,
- zahtjevi koji se odnose na LCIA proceduru, i koji se mogu iskoristiti u naknadnoj interpretaciji rezultata,
- način na koji će rezultati biti predstavljeni određenom auditoriju,
- vrsta i oblik izvještaja potrebnog za studiju.

Zadaća definicije opsega analize jest identificiranje predmeta analize, kao i definiranje granica koje će obuhvatiti sve ono što je bitno, odnosno ono što je definirano svrhom analize. U okviru toga provode se slijedeći koraci:

1. Definiranje objekta analize
2. Definiranje funkcionalne jedinice

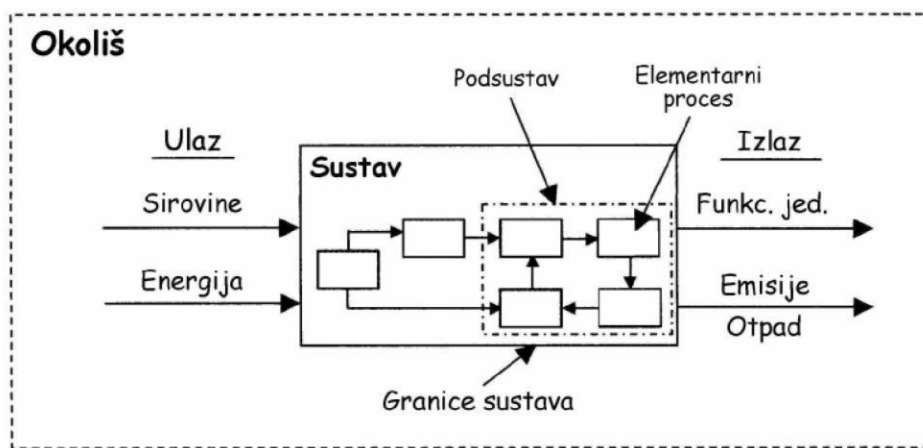
## 5.2. Faza popisivanja i analiziranja relevantnih podataka

Ova faza poznata je i pod nazivom **LCI** (engl. *Life Cycle Inventory analysis*) a 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, kao što je to prikazano slikom 5.2.1. U ovoj fazi svi bitni podatci su prikupljeni i organizirani. Bez LCI ne postoji baza za procjenu utjecaja na okoliš i potencijalnih poboljšanja.

Kao i druge faze definirana je svrhom i analizom opsega analize. LCI definira

sustav kao skup materijalno ili energijski povezanih elementarnih procesa, koji imaju jednu ili više definiranih funkcija.

Sustav je podijeljen u više međusobno povezanih podsustava u dijagramu toka. Dijagram toka služi za mapiranje ulaza i izlaza u proces ili sustav. Sustav ili granice sustava se razlikuju ovisno o LCA projektu. Svrha i opseg analize, definirani u prvoj fazi, određuju osnovne granice sustava upotrijebljene u dijagramu toka. Unutar granica prikazan je sustav koji povezan čini cijeli životni vijek proizvoda.



Slika 5.2.1 Faza analiziranja i popisivanja relevantnih podataka

Faza popisivanja obuhvaća 3 bitna koraka:

1. Prikupljanje i sređivanje podataka
2. Alokacija (dodjeljivanje utjecaja odgovarajućim procesima)
3. Procjena neizvjesnosti i osjetljivosti

### 5.2.1. Prikupljanje i sređivanje podataka

Prikupljanje 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.

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

Za svaku fazu životnog ciklusa, jedinice procesa ili vrste izlaza, odrediti potreban izvor podataka i/ili zahtijevanu vrstu kako bi se osigurala dovoljna točnost i kvaliteta ciljeva proučavanja.

Izvori podataka načelno se dijele u četiri kategorije:

1. Elektronske baze podataka - postoje brojne baze podataka, koje su najčešće sastavni dio računalnih programa za LCA analizu; baze podataka nastaju na temelju već provedenih analiza, te se preporuča njihovo korištenje (ukoliko postoje podatci unutar baze koji su kompatibilni s promatranim procesom) zbog uštede u vremenu i troškovima
2. Podatci iz literature - na primjer, znanstveni radovi, postojeći LCA izvještaji i slično
3. Podatci dobiveni od proizvođača, laboratorija i slično
4. Izmjereni i/ili izračunati podatci - korištenje ove vrste podataka će dati najtočnije rezultate, ali zahtjeva najviše vremena i ulaganja

Ulazne podatke je relativno lako odrediti, to su uglavnom potrošnja energije i materijala, te ih je moguće pronaći u već postojećoj poslovnoj dokumentaciji. Međutim, izlazni podaci (kao što su emisije u zrak, vodu i zemlju) zahtijevaju puno više truda.

### **5.2.2. Alokacija**

Alokacija predstavlja jedan od većih problema u LCA analizi. Postoje mnogi slučajevi kada ulazne veličine u neki proizvodni sustav potječu iz drugog proizvodnog sustava (ili više njih), kao i kad se izlazne veličine iz proizvodnog

sustava nastavljaju u drugom proizvodnom sustavu (ili više njih). To znači da neki procesi spadaju u više proizvodnih sustava te se utjecaj na okoliš tih procesa treba podijeliti između usluga koje pružaju proizvodi iz tih sustava.

Načelno postoje dva načina na koji proces može doprinijeti nastanku više od jedne usluge:

- u slučaju da više proizvoda nastaje iz istog procesa,
- u slučaju uporabe materijala ili podsklopa proizvoda.

Ovaj se problem rješava, prema normi ISO 14044, na tri načina:

1. Kad god je to moguće, nastojati izbjeći alokaciju. Pokušati podijeliti sporne procese na više podprocesa ili prilagoditi granice sustava da se izbjegne alokacija.
2. Kada nije moguće izbjeći alokaciju, a proizvodi nastali iz zajedničkih procesa se mogu okarakterizirati istom funkcijskom jedinicom, utjecaj treba podijeliti u omjeru proizvedene funkcijske jedinice.
3. Ako se proizvodi ne mogu okarakterizirati zajedničkom funkcijskom jedinicom, valja pronaći neku drugu osnovu za raspodjelu. Na primjer, osnova za raspodjelu može biti masa proizvoda.

### **5.2.3. Procjena neizvjesnosti i osjetljivosti**

Sve prikupljene podatke, te rezultate istraživanja koji će biti korišteni tijekom daljnje provedbe LCA analize potrebno je podvrgnuti analizi osjetljivosti ("*Sensitivity analysis*"), kako bi se procijenile varijabilnosti uzrokovane nekim nekontroliranim uplivima. (npr. pogreške u pisanju i sl.)

Prilikom prikupljanja i procesuiranja traženih podataka pažnju treba usmjeriti na slijedeće značajke:

- ispravnost,
- pouzdanost,



- upotrebljivost,
- starost,
- preciznost,
- izvor.

### 5.3. Određivanje utjecaja na okoliš

LCIA, treća faza LCA procesa, uključuje procjenu potencijalnih utjecaja na ljudsko zdravlje i okoliš na temelju podataka o potrošnji resursa i emisija u okoliš, dobivenih u prethodnoj fazi. Ova faza pokušava uspostaviti vezu između proizvoda ili procesa i njegovog potencijalnog utjecaja na okoliš. Primjerice, koji su utjecaji emisije 9000 tona ugljikovog dioksida ili 5000 tona metana u atmosferu? Koji su njihovi potencijalni utjecaji na nastanak smoga? Na globalno zatopljenje? Ključ svega je u stresorima. Primjerice, ako proizvod ili proces emitira stakleničke plinove, porast stakleničkih plinova u atmosferi može pridonijeti globalnom zatopljenju. LCIA daje sistematične postupak za klasificiranje i karakteriziranje takvih vrsta utjecaja na okoliš.

Pomoću znanstveno utemeljenih čimbenike, LCIA može izračunati utjecaje svih oslobađanja u okoliš na probleme kao što su smog i globalno zatopljenje. Rezultati LCIA pokazuju razlike u potencijalnim utjecajima na okoliš pojedinih opcija.

Procedura provođenja LCIA provodi se kroz slijedećih sedam koraka:

1. **Izbor i definiranje kategorija utjecaja** - identifikacija relevantnih kategorija utjecaja na okoliš (npr. globalno zatopljenje, zakiseljavanje tla i sl.)
2. **Klasifikacija** - pripisivanje rezultata iz faze LCI kategorijama utjecaja (npr. pripisivanje emisije ugljik-dioksida globalnom zatopljenju)
3. **Karakterizacija** - modeliranje podataka dobivenih u LCI fazi unutar kategorija utjecaja pomoću konverzijskih faktora (npr. određivanje kvantitativne vrijednosti potencijalnog utjecaja ugljik-dioksida na globalno

zatopljenje)

4. **Normalizacija** - izražavanje potencijalnih utjecaja na način da se mogu uspoređivati (npr. usporedba potencijalnog utjecaja na globalno zatopljenje ugljik-dioksida i metana.)
5. **Grupiranje** - sortiranje utjecaja na okoliš (npr. sortiranje utjecaja na geografskoj osnovi: lokalno, regionalno ili globalno)
6. **Ocjenjivanje** - određivanje najznačajnijih potencijalnih utjecaja na okoliš
7. **Elaboriranje rezultata LCIA faze**

Prema normi ISO 14042, prva tri koraka su obavezna prilikom provođenja LCIA, dok su ostali izborni te njihovo provođenje ovisi o definiciji svrhe i opsega analize.

#### 1. Izbor i definiranje kategorija utjecaja na okoliš

Prvi korak u sklopu LCIA faze jest odabir kategorija utjecaja na okoliš, koje će biti promatrane kao dio ukupne LCA analize. Ovaj korak bi se trebao napraviti kao dio prve faze analize (definiranjem svrhe i opsega analize), kako bi se olakšala faza prikupljanja podataka. Za LCIA, utjecaji su definirani kao negativne posljedice uzrokovane ulaznim i izlaznim tokovima sustava na ljudsko zdravlje, biljke, životinje, ali i na dostupnost prirodnih resursa u budućnosti. Tako se utjecaji mogu podijeliti u tri kategorije: ljudsko zdravlje, zdravlje eko-sustava i osiromašenje izvora resursa (Slika 5.3.1.).

**Exhibit 4-1. Commonly Used Life Cycle Impact Categories**

Impact Category	Scale	Examples of LCI Data (i.e. classification)	Common Possible Characterization Factor	Description of Characterization Factor
Global Warming	Global	Carbon Dioxide (CO <sub>2</sub> ) Nitrogen Dioxide (NO <sub>2</sub> ) Methane (CH <sub>4</sub> ) Chlorofluorocarbons (CFCs) Hydrochlorofluorocarbons (HCFCs) Methyl Bromide (CH <sub>3</sub> Br)	Global Warming Potential	Converts LCI data to carbon dioxide (CO <sub>2</sub> ) equivalents Note: global warming potentials can be 50, 100, or 500 year potentials.
Stratospheric Ozone Depletion	Global	Chlorofluorocarbons (CFCs) Hydrochlorofluorocarbons (HCFCs) Halons Methyl Bromide (CH <sub>3</sub> Br)	Ozone Depleting Potential	Converts LCI data to trichlorofluoromethane (CFC-11) equivalents.
Acidification	Regional Local	Sulfur Oxides (SO <sub>x</sub> ) Nitrogen Oxides (NO <sub>x</sub> ) Hydrochloric Acid (HCL) Hydrofluoric Acid (HF) Ammonia (NH <sub>3</sub> )	Acidification Potential	Converts LCI data to hydrogen (H <sup>+</sup> ) ion equivalents.
Eutrophication	Local	Phosphate (PO <sub>4</sub> ) Nitrogen Oxide (NO) Nitrogen Dioxide (NO <sub>2</sub> ) Nitrates Ammonia (NH <sub>3</sub> )	Eutrophication Potential	Converts LCI data to phosphate (PO <sub>4</sub> ) equivalents.
Photochemical Smog	Local	Non-methane hydrocarbon (NMHC)	Photochemical Oxidant Creation Potential	Converts LCI data to ethane (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> ) equivalents.
Terrestrial Toxicity	Local	Toxic chemicals with a reported lethal concentration to rodents	LC <sub>50</sub>	Converts LC <sub>50</sub> data to equivalents; uses multimedia modeling, exposure pathways.
Aquatic Toxicity	Local	Toxic chemicals with a reported lethal concentration to fish	LC <sub>50</sub>	Converts LC <sub>50</sub> data to equivalents; uses multimedia modeling, exposure pathways.
Human Health	Global Regional Local	Total releases to air, water, and soil.	LC <sub>50</sub>	Converts LC <sub>50</sub> data to equivalents; uses multimedia modeling, exposure pathways.
Resource Depletion	Global Regional Local	Quantity of minerals used Quantity of fossil fuels used	Resource Depletion Potential	Converts LCI data to a ratio of quantity of resource used versus quantity of resource left in reserve.
Land Use	Global Regional Local	Quantity disposed of in a landfill or other land modifications	Land Availability	Converts mass of solid waste into volume using an estimated density.
Water Use	Regional Local	Water used or consumed	Water Shortage Potential	Converts LCI data to a ratio of quantity of water used versus quantity of resource left in reserve.

**Slika 5.3.1.** Upotrebjavane LCIA kategorije utjecaja [4]

## 2. Klasifikacija

Svrha klasifikacije je organiziranje i eventualno kombiniranje rezultata dobivenih u fazi popisivanja i analize podataka u prethodno definirane kategorije. Naravno, jedna veličina se može svrstati u više kategorija utjecaja. Za one veličine koje doprinose samo jednoj kategoriji utjecaja, postupak je jednostavan. Primjerice, emisije ugljikovog dioksida mogu biti svrstane u kategoriju globalnog zatopljenja. Međutim, u slučaju da jedna veličina doprinosi dvama ili više kategorija, potrebno je ustanoviti pravilo za klasifikaciju. Prema normi ISO 14042, dva su načina:

- Podijeliti veličinu dobivenu u LCI fazi na reprezentativne dijelove, te zatim dijelove svrstati u kategorije utjecaja. To se prakticira u slučaju

da su kategorije utjecaja u međusobnoj ovisnosti.

- Cjelokupne veličine svrstati u sve kategorije na koje imaju utjecaj. To se prakticira u slučaju da kategorije utjecaja nisu u međusobnoj ovisnosti.

Na primjer, dušikov-dioksid negativno utječe na stvaranje ozona, ali i na zakiseljavanje tla. Kako te dvije pojave nisu u međusobnoj ovisnosti, potrebno je čitavu količinu dušikovog- dioksida svrstati u obje kategorije.

### 3. Karakterizacija

U karakterizaciji utjecaja koriste se konverzijski faktori, odnosno faktori karakterizacije, koji su nastali na temelju znanstvenih analiza. Ti faktori služe kako bi se veličine dobivene u LCI fazi analize prevele u reprezentativne indikatore utjecaja na zdravlje ljudi i eko- sustava. Dakle, karakterizacija se koristi kako bi se različite veličine prevele u indikatore utjecaja. Na primjer, karakterizacija može omogućiti procjenu relativnih utjecaja na zagađenje tla emisijom različitih količina olova, kroma i cinka.

Indikatori utjecaja (ponekad se koristi i naziv potencijali utjecaja) mogu se okarakterizirati slijedećom jednačinom:

$$\sum \text{Količine tvari} \times \text{Karakterizacijski faktor} = \sum \text{Indikatora utjecaja}$$

Karakterizacija stavlja različite količine tvari u isto mjerilo, što omogućuje određivanje utjecaja koji svaka od njih ima na neku kategoriju utjecaja. Tako, na primjer, proračuni prikazuju da 10 kilograma metana ima veći utjecaj na globalno zatopljenje od 20 kilograma kloroforma. [5]

Karakterizacijske faktore treba koristiti s oprezom, jer za neke kategorije utjecaja još nisu konvencionalno definirani, te se obavezno mora navesti njihov izvor kako bi se osiguralo da se odnose na svrhu i opseg proučavanja. Primjerice, mnogi

karakterizacijski faktori su bazirani na studijama iz Europe, i iz toga razloga se moraju provjeriti prije nego se upotrijebe u SAD-u.

#### **4. Normalizacija**

Ovaj korak služi kako bi se indikatori utjecaja mogli uspoređivati unutar kategorija utjecaja. Svrha je izračunati do kojeg nivoa određena kategorija ima utjecaj na ukupno opterećenje okoliša (kategorije s vrlo malim utjecajem na okoliš mogu se izostaviti). Normalizacija se vrši na način da se dobiveni indikatori utjecaja podijele sa odabranom referentnom vrijednošću. Najčešće referentne vrijednosti su :

- ukupna emisija pojedine kategorije u određenoj regiji (lokalna, regionalna, nacionalna ili globalna) tijekom određenog perioda (npr. 1 godina)
- ukupna emisija pojedine kategorije u određenoj regiji po glavi stanovnika

Važno je napomenuti da se normalizirani podaci ne mogu uspoređivati sa podacima iz druge kategorije utjecaja.

#### **5. Grupiranje**

U ovom koraku se grupira više kategorija utjecaja s ciljem što bolje interpretacije rezultata analize, koji te tiču nekog interesnog područja. Prema normi ISO 14042 grupiranje se vrši na slijedeća dva načina :

- Sortiranje indikatora utjecaja prema karakteristikama kao što su emisija (u vodu, zrak ili zemlju), i geografski utjecaj (lokalni, regionalni, globalni)
- Sortiranje indikatora prema prioritetu. Prioriteti se odabiru na temelju definicije svrhe i opsega LCA analize. [2]

#### **6. Ocjenjivanje**

U ovom koraku pripisuju se relativne vrijednosti različitim kategorijama utjecaja na temelju njihovih procijenjenih važnosti. Ocjenjivanje je važno jer kategorije utjecaja

također odražavaju svrhu studije i vrijednosti sudionika. Naime, štetne emisije u atmosferu mogu biti od većeg značaja u području gdje je zrak već prilično onečišćen, nego u području gdje je veća kvaliteta zraka. Kako ocjenjivanje nije egzaktan proces, vrlo je važno jasno elaborirati kriterije prema kojima je provedeno ocjenjivanje.

Ocjenjivanje uključuje iduće aktivnosti:

- Identificiranje osnovnih vrijednosti dionika
- Utvrđivanje utega na utjecaje
- Primjenom utega utjecati na pokazatelje

Postoji nekoliko problema kod ocjenjivanja:

- Subjektivnost - prema ISO 14042 svaka prosudba o preferencijama je subjektivna odluka o relativnoj važnosti jednog utjecaja kategorije nad drugu
- Kako bi korisnici trebali pravedno i dosljedno donijeti odluku temeljenu na okolišnim preferencijama, subjektivnom prirodom ili ocjenjivanjem? - proizlazi iz prvog problema. [2]

## **7. Elaboriranje rezultata**

Kada su poznati svi rezultati faze određivanja utjecaja na okoliš (LCIA), potrebno je provjeriti njihovu točnost, koja mora zadovoljiti definiciju svrhe analize. Prilikom elaboriranja rezultata, potrebno je detaljno opisati metodologiju korištenu prilikom analize, kao i analizirani sustav, postavljene granice sustava, te sve pretpostavke postavljene u analizi.

### **5.4. Interpretacija**

To je ujedno i posljednja faza u provedbi LCA analize. Cilj interpretacije životnog ciklusa je analiza rezultata, ostvarenih zaključaka, objašnjenje ograničenja i pružanje preporuka na temelju dobivenih rezultata analize. Zadatak interpretacije životnog ciklusa je pružiti i jasno prihvatljivu ponudu i jedinstvenu prezentaciju rezultata LCA analize, u skladu sa definiranim ciljem i predmetom

analize.

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

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:**

Identifikacija značajnih problema je izdvajanje onih rezultata dobivenih analizom koji u većoj mjeri odstupaju od pretpostavljenih granica unutar kojih je rezultat te analize zadovoljavajući. Cilj identifikacije je ostvariti strukturalni pristup prema naknadnom vrednovanju podataka, informacija i ustanovljavanje analiza.

**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 Također, u ovom koraku je važno određivanje utjecaja raznih pretpostavki, metoda i podataka na rezultate.

**3. Zaključci:**

Kao posljednji korak u interpretaciji, a time ujedno i posljednji korak u provedbi LCA analize navodi se donošenje zaključaka, izvještaja ili odluka vezano uz svrhu provedene analize.

## 6. OGRANIČENJA LCA METODE

Kao i svaki drugi alat bilo koje vrste i namjene, LCA analizu uz mnoge prednosti karakteriziraju i neke mane. U ovom dijelu nabrojat ćemo neke opće poteškoće i ograničenja pri korištenju navedenog alata:

- Troškovi provođenja LCA analize mogu biti preveliki, pogotovo za manja poduzeća,
- Još uvijek ne postoje usuglašeni karakterizacijski faktori za sve vrste utjecaja na okoliš,
- Dostupnost podataka je često ograničena,
- Podaci često nisu zadovoljavajuće kvalitete,
- Vrijeme potrebno za analizu često premašuje ukupno vrijeme razvoja proizvoda,
- Često je problematično ili čak nemoguće odrediti funkcijsku jedinicu prilikom usporedbe više konstrukcijskih rješenja,
- Alokacijske procedure nisu egzaktne, stoga nose sustavne greške, što će se odraziti na ukupan rezultat analize,
- Odgovorne osobe često ne posjeduju dovoljno stručnog znanja iz područja ekologije, da bi donijele kvalitetne odluke na temelju provedene analize,
- LCA je alat za bolje informiranje odgovornih osoba i trebala bi uključivati i druge kriterije, kao što su cijene i značajke, kako bi se mogla donijeti što bolja odluka,
- Složeni proizvodi (npr. automobili) traže opsežne analize.



## 7. LCA RAČUNALNE APLIKACIJE

Postoji veliki broj različitih softvera za provođenje LCA analize, a neki od njih bit će i objašnjeni u ovom poglavlju.

Neki od njih su:

- Sima Pro (PRé Consultants BV),
- EcoCalculator (The Athena Institute),
- ECO-it 1.3 (PRé Consultants BV),
- EcoLab version 5.1.2 (Nordic Port AB),
- Bees 4.0 (NIST – National Institute of Standards and Technology),
- EDIP PC-tool version 2.11 beta (Danish Environmental Protection Agency),
- GaBi 4 (PE Product Engineering GmbH),
- JEMAI-LCA (JEMAI, Japan Environmental Management Association for Industry),
- KCL Eco 4.1 (KCL, Finnish Pulp and Paper Research Institute),
- LCAiT 4 (Chalmers Industriteknik, Ekologik),
- PEMS v4.6 (Pira International),
- SPINE@CPM Data Tool 3.0 (CPM),

Broj računalnih aplikacija iz područja procjene utjecaja životnog ciklusa proizvoda na okoliš konstantno raste. Postoje i brojne aplikacije koje su specijalizirane za određeno područje primjene.

### 7.1. SimaPro računalna aplikacija

Ova aplikacije proizvod je programerske tvrtke *PRé Consultants*, koja je specijalizirana za izradu računalnih programa na području poboljšanja proizvoda i proizvodnje, bazirajući svoj rad na konceptu životnog ciklusa proizvoda.

SimaPro 7 je softverski alat koji omogućava prikupljanje, analizu i monitoring ekoloških karakteristika proizvoda. Pomoću njega, korisnik može lako modelirati i analizirati cjelokupni životni ciklus proizvoda na sistematičan i transparentan način, prateći zahtjeve serije standarda ISO 14040 .

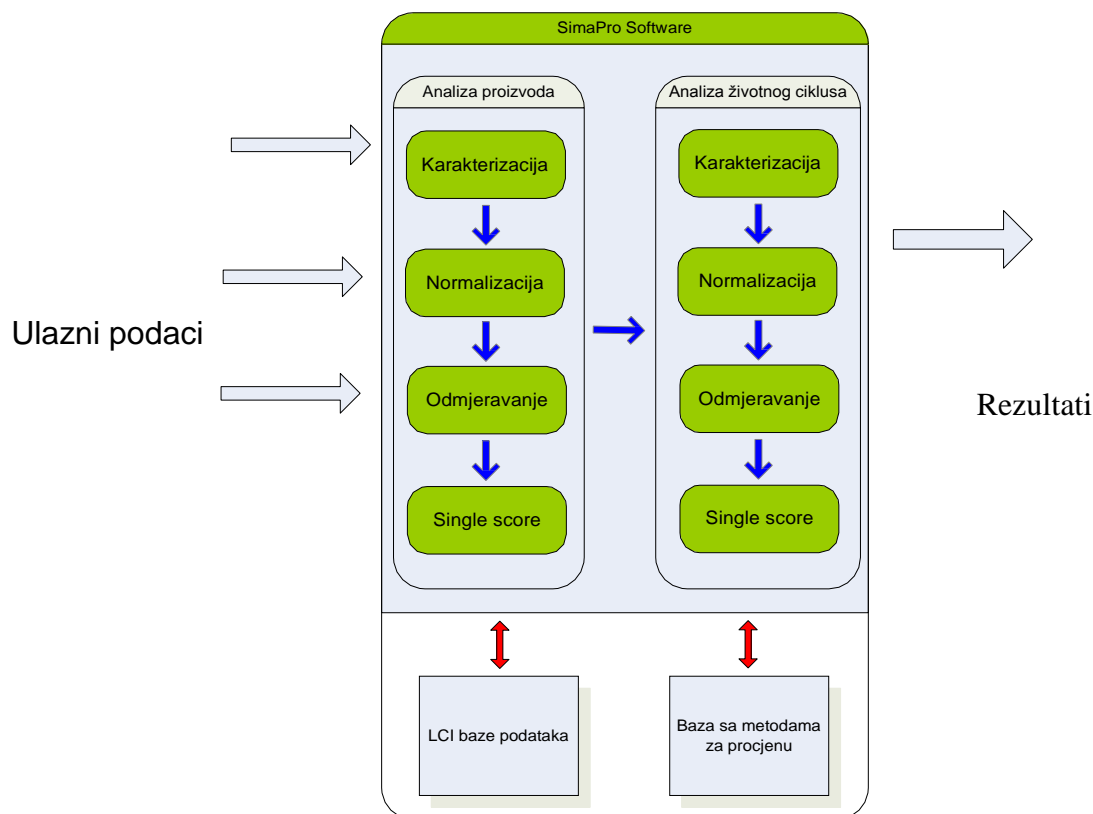
Sima Pro posjeduje karakteristike koje se mogu očekivati od jednog profesionalnog LCA softverskog proizvoda :

- dostupnost u više verzija u zavisnosti od potreba korisnika,
- intuitivno korisničko sučelje prema zahtjevima ISO 14040,
- lako modeliranje pomoću vodiča (wizards-a),
- direktno povezivanje sa Excel ili ASP bazama podataka,
- direktan utjecaj na rezultate proračuna za svaku fazu životnog ciklusa modeliranog proizvoda,
- svi rezultati u jednom odgovarajućem prozoru,
- interaktivna analiza rezultata,
- grupiranje rezultata,
- analiza kritičnih točaka; pomoću stabla procesa se identificiraju kritične točke,
- velika mogućnost filtriranja svih podataka. [6]

Otvorena arhitektura SimaPro 7 čini ovaj program fleksibilnijim. Ovo je veoma bitno jer eko-balans kao jedna nova metoda, konstantno prolazi kroz promjene u toku razvoja. Transparentnost rezultata balansiranja je još jedna prednost SimaPro-a, jer sada se mogu računati balansi do različitih razina detaljnosti, što omogućava lakšu identifikaciju slabih točaka, i kao dodatak, rezultati balansa mogu se pratiti unazad do individualnih procesa u okviru procesnog stabla.

## 7.1.2. Princip rada SimaPro računalne aplikacije

Slikom 6.1.2.1. shematski je prikazan princip rada ove aplikacije.



**Slika 7.1.2.1** Shematski prikaz principa rada SimaPro aplikacije [6]

Ulazne podatke definira i unosi korisnik, a to su:

- definirana svrha i cilj provođenja analize,
- definirana funkcionalna jedinica,
- definirane granice sustava promatranog proizvoda, te
- podaci o proizvodu i svim relevantnim procesima vezanim uz njega.

Izlazni podaci, odnosno rezultati analize u okviru SimaPro računalne aplikacije, proračunavaju se prema metodi ekoloških indikatora i prikazuju u obliku dijagrama

ili tablica za svaki od četiri standardna koraka LCA analize.

Najvažniji i najvrjedniji dio SimaPro aplikacije, pa tako i ostalih LCA računalnih aplikacija jesu baze podataka i baze metoda za procjenu.

Neke od baza podataka su:

- Ecoinvent
- USA Input Output,
- INDUSTRY DATA,

Baze podataka predstavljaju popise raznih podataka o pojedinim materijalima i/ili procesima. Vrlo često su u sklopu baza podataka razvijene i njihove vlastite metodologije u pristupu obradi podataka. Problem sa bazama podataka jest u tome što se u sklopu svake podaci opisuju i definiraju na različite načine.

## 8. LCA NA ODABRANOM PRIMJERU

U sklopu ovog poglavlja bit će prikazana provedena LCA analiza boce tvrtke "Vetropack straža".

### 8.1. Vetropack straža

U Vetropack Straži se proizvodi ambalažno staklo - raznovrstan asortiman koji obuhvaća standardne boce i ekskluzivne oblike staklenki u bijeloj, zelenoj, smeđoj, olive, cuvee i tuborg boji.

Vetropack je jedan od vodećih proizvođača staklene ambalaže u Europi. Pod motom „**staklo oblikovano po mjeri**“ Vetropack razvija u suradnji sa svojim kupcima staklenu ambalažu koja, prilagođena ciljnoj skupini, formalno i vizualno podupire image proizvoda i njegovu marketinšku strategiju, te istovremeno maksimalno zadovoljava zahtjeve trgovine i potrošača. Vetropackove usluge se protežu od prvoklasnog dizajna ambalaže, preko suvremene proizvodnje i sigurne pravovremene opskrbe, do savjetovanja i potpore u području tehnike punjenja, kondicioniranja i zatvaranja. [9]

*„Vetropackova strategija bavljenja staklom jest strategija širenja i čuvanja. Kod njih je važniji dugoročni uspjeh ispred kratkoročne maksimalne dobiti.“ [9]*

*Cilj:*

- *zadržati vodeću poziciju na domaćim tržištima – uz jako regionalno učvršćivanje.*
- *proizvodnja po mjeri kupca*
- *efikasno poslovanje*
- *smanjenje troškova [13]*

Dugoročni cilj Vetropack Straže, ujedno i Vetropack Grupe, je optimizacija inovativnog postupka za dobivanje tvrdog stakla - lakša i čvršća staklena ambalaža.

Njihova glavna proizvodna politika je ulaganje u inovacije i razvoj novih

proizvoda, očuvanje okoliša (smanjiti emisije CO<sub>2</sub>), unapređenje tehnologije.

## **8.2. Proces proizvodnje**

Priprema smjese za ambalažno staklo vrši se u potpuno automatiziranoj mješaoni smjese prema postavljenoj recepturi. Ta se smjesa ubacuje u peć gdje se tali na temperaturi od 1580 stupnjeva. Užarena staklena masa iz peći odlazi u kanal i mehanizam feedera gdje se formira oblik i težina staklene kapi prema zadanom artiklu. Kap padne u pretkalupnu stranu stroja gdje se pomoću komprimiranog zraka ili prešanjem metalnim jezgrenom (ovisno o procesu) formira grlo boce i predoblik, koji pomoću vakuuma i komprimiranog zraka na kalupnoj strani stroja dobiva svoj konačni oblik.

Slijedi postupno hlađenje u hladioniku i završno oplemenjivanje kojim se vanjska površina boca dodatno štiti od trenja i ogrebotina te im se poboljšava otpornost na lom. Boce se zatim podvrgavaju vizualnoj, mehaničkoj i elektronskoj kontroli. Nakon ispitivanja kvalitete, staklenke se automatski slažu na palete i pokrivaju termoskupljajućom folijom. Tako zapakirane i zaštićene odlaze u skladište gotove robe.

## **8.3. Priprema i planiranje LCA analize**

### **1. Definiranje svrhe i cilja provedbe analize**

LCA analiza provodi se za potrebe završnog rada. Zamišljeni ciljevi provođenja LCA analize, između ostalog, su utvrditi:

- ispuštanja u okoliš tijekom samog procesa
- povećanje produktivnosti
- prostor za poboljšanje procesa
- usporedba sa drugim procesima

Industrija koja se bavi proizvodnjom stakla, suočena je s brojnim izazovima

kako bi smanjila direktne i indirektne utjecaje na okoliš.

## **2. Definiranje funkcionalne jedinice**

U ovom slučaju nije moguće definirati funkcionalnu jedinicu, jer promatramo samo jedan proces u okviru cijelog životnog ciklusa proizvoda.

## **3. Definirati granice sustava**

Kako bi LCA analizu bilo moguće provesti i dati što preciznije tumačenje dobivenih rezultata, potrebno je jasno definirati procese koji će biti obuhvaćeni analizom. Svaki proizvod tijekom svojeg životnog ciklusa prolazi kroz niz faza. Te faze je moguće prikazati u općem obliku, koji vrijedi za sve proizvode, a može biti prikazan kao na slici 4.1.

## **4. Definirati podatke o proizvodu i svim relevantnim procesima vezanim uz njega**

Svaki od osnovnih procesa prikazanih u shemi na slici 4.1. obuhvaća cijeli niz podataka o korištenim materijalima i podprocesima. Ti podaci predstavljaju osnovu za provedbu svake kompletne LCA analize, te moraju biti što bolje i detaljnije opisani i definirani.

## **8.4. Rezultati LCA analize**

Svaki proizvod, bio on načinjen od drva, stakla, plastike, gume, papira ili metala, utječe na okoliš, samim time i na čovjeka. Taj utjecaj ovisi o različitim čimbenicima tijekom proizvodnje sirovina, proizvodnje tvorevina, uporabe proizvoda, pa sve do njegova konačnog zbrinjavanja. Analiza životnog ciklusa jedna je od metoda kojom se definira, kvantificira i vrednuje utjecaj proizvoda na okoliš od početka proizvodnje do njegova uništenja, od kolijevke do groba. Popis utjecajnih čimbenika praktički je neograničen: utrošak materijala i energije, opterećenje vode,

zraka i tla, buka, utjecaj na klimu i oštećivanje ozonskog omotača, troškovi zbrinjavanja proizvoda itd.

Kao ulazni podaci definirani su materijal i energija. U inventar životnog ciklusa uključeni su transport, proizvodnja, eksploatacija sirovine, recikliranje i zbrinjavanje otpada. Kao izlazni podaci definirani su emisije u zrak, vodu i tlo. Baza podataka potrebna za analizu je Ecoinvent.

Uobičajena staklena boca volumena 1 L ima masu od 450 do 500 g. Od jednog kilograma stakla mogu se izraditi samo dvije boce, odnosno može se zapakirati 2 L napitka. Za proizvodnju jednog kilograma stakla za boce potrebno je utrošiti bruto energiju od 12,7 MJ. Jednostavnim izračunom potrošnje energije po jednoj litri napitka u slučaju pakiranja u staklenu bocu dođe se do brojke od 6,5 MJ/L.

<b>Pakiranje 1 000 L mineralne vode</b>	<b>Staklena boca, povratna, 1 L</b>
<b>Potrošnja fosilnih goriva</b>	
Potrošnja fosilnih goriva - ukupno, MJ	1 790
Potrošnja fosilnih goriva – energija, MJ	1 790
Potrošnja anorganskih sirovina, kg	25,7
Potrošnja vode, kg	2 210
<b>Onečišćenje</b>	
Efekt globalnog zagrijavanja, kg CO <sub>2</sub> -ekv.	169
Fotokemijski oksidanti, g C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -ekv.	265
Zakiseljavanje tla, g SO <sub>2</sub> -ekv.	992
Eutrofikacija, g PO <sub>4</sub> -ekv	126
Kemijska potrošnja kisika (COD), g	245
<b>Toksičnost</b>	
Onečišćenje zraka, m <sup>3</sup> jedinica onečišćenog zraka	300 000
Onečišćenje vode, m <sup>3</sup> jedinica onečišćene vode	249
Dioksini, ng TEQ (ekvivalent toksičnosti dioksina) – proizvodnja	137



Dioksini, ng TEQ – energija	9,62
-----------------------------	------

**Tablica 8.4.1** LCA analiza

Analiza se temeljila na pakiranju 1000 L mineralne vode, pri čemu je pretpostavljen broj povrata staklene boce od 30 puta, a udaljenost do distribucijskog centra 100 km. Rezultat studije pokazao je da uobičajeno davanje prednosti povratnoj ambalaži nije uvijek opravdano s motrišta utjecaja na okoliš, s obzirom na dobivene rezultate zaključujem da se kod povratne boce troše velike količine energije na njeno čišćenje, a samim time se stvara utječe na okoliš. U slučaju povratne ambalaže, distribucija i pranje boca najviše utječu na okoliš, dok u slučaju jednokratne ambalaže proizvodnja ambalaže i ambalažnog materijala ima najveći utjecaj. Za sve sustave ambalaže, rezultati dobro koreliraju s ukupnom potrošnjom energije. Drugim riječima, potrošnja energije ambalažnog sustava gotovo određuje njegov utjecaj na okoliš. Prednosti ili nedostaci jednokratne prema povratnoj ambalaži nisu mogući jer se može zaključiti sljedeće: pri malim transportnim udaljenostima povratna staklena ambalaža ekološki je prihvatljivija od jednokratne ambalaže, no s povećanjem udaljenosti lagana jednokratna ambalaža (svi ambalažni materijali osim stakla) manje utječe na okoliš od povratne staklene ambalaže. Povratne staklene boce relativno su teške i nespretne, pa zahtijevaju gotovo dva puta više kamiona na cesti za distribuciju ekvivalentne količine napitaka u PET bocama, stoga nakon određene transportne udaljenosti jednokratne PET boce imaju manji negativan utjecaj na okoliš.

Iz svega bi se moglo zaključiti da niti jedna studija ne daje rezultate koji bi bili prihvatljivi svima, budući da se čak i suradnici na istim projektima razilaze u interpretaciji rezultata. No niti jedna studija nije dokazala ekološku neprihvatljivost staklene ambalaže prema PET ambalaži. Posebno treba napomenuti da su sve studije osnovnom ekološkom prednosti staklene ambalaže smatrale sposobnost njezine ponovne uporabe, odnosno mogućnost povrata, no svjedoci smo sve veće količine nepovratne staklene ambalaže, koja pokazuje iznimno loš utjecaj na okoliš.

Utjecaji na okoliš koji se javljaju kao posljedica proizvodnje staklene ambalaže u najvećoj mjeri se mogu pripisati potrošnji i dobavi energije i sirovina.

U slučaju ozbiljnije i dublje LCA analize, u okviru ovog poglavlja razmatrale bi se

posljedice na okoliš u pojedinim kategorijama utjecaja, ovisno o postavljenim ciljevima i svrsi analize. Takva vrsta interpretacije zahtijevala bi rad i suradnju cijelog niza stručnjaka s različitih područja, kao što su toksikolozi, tehnolozi, ekonomisti, itd.

Rezultati LCA analize mogu ukazati na dijelove životnog ciklusa koji su problematični, bilo u ekološkom, ekonomskom ili u nekom drugom pogledu. Pa je tako moguće značajno utjecati na troškove proizvodnje, ali i ukupnog poslovanja, što je u današnje vrijeme jako bitno.

Tijekom izrade ovog rada mnogo puta je spomenuto kako je LCA analiza nadasve složen i dugotrajan proces. Isto tako istaknute su i brojne prednosti provođenja LCA analize, a koje se uglavnom odnose na okoliš. U većini slučajeva napredak znači i ozbiljna ekonomska ulaganja, s upitnom ekonomskom opravdanosti. To nas dovodi do zaključka, da kvalitetne analize mogu provoditi samo veliki sustavi, prije svega veliki industrijski proizvođači, s obrazovanim stručnim kadrom na području LCA analize.

## 9. ZAKLJUČAK

Svrha ovog rada bila je prikazati mogućnosti primjene procjene utjecaja životnog ciklusa proizvoda na okoliš (LCA analize). LCA analiza može poslužiti u planiranju proizvodnje, kao osnova za tehnološku i operativnu pripremu. Na taj način se mogu i kvalitetno predvidjeti troškovi proizvodnje, što je važan strateški čimbenik poslovanja. U radu je analiza prikazana prvenstveno s gledišta primjene u području strojarstva, konkretno na procesu izrade staklene boce, a navedene su i druge mogućnosti njene primjene.

U radu su opisane brojne prednosti, ali i slabosti LCA metode. Kao jedan od najvećih nedostataka se smatra kompleksnost analize, ali i relativno dugo vrijeme potrebno za njenu provedbu i potreba za ozbiljnim ekonomskim ulaganjima s upitnom ekonomskom opravdanosti.

Zaključno, može se reći kako je LCA analiza odličan alat koji ima široku primjenu u razvoju gospodarstva. Isto tako, primjenjiva je na proizvodnju i opće poslovanje na području RH, pogotovo sada kada je priključena EU i otvaranjem novih tržišta i mogućnosti. Ipak, nužna su dodatna ulaganja u obrazovanje i upoznavanje stručnog kadra proizvodnih tvrtki s konceptom održivog razvoja.

**U Varaždinu,  
Listopad 2015.**

---

## 10. LITERATURA

- [1]. Handbook on Life Cycle Assessment, J. B. Guinee, R. Heijungs, Hans de Brujin, 2012.
- [2]. Life Cycle Assessment Handbook, edited by Mary Ann Curran, 2002.
- [3]. <http://www.theguardian.com/world/2013/dec/10/chinese-media-silver-linings-smog-haze>
- [4]. ILCD handbook, European Commission, Joint Research Centre
- [5]. Environmental management- The European Standard EN ISO 14041, October 1998.
- [6]. Introduction to LCA with SimaPro 7, user manual tvrtke *PRé Consultants*, 2010
- [7]. Design of Sustainable Product Life Cycles- J. Neimann, S. Tichkiewitch, 2009.
- [8]. LIFE CYCLE INVENTORY OF THREE SINGLE – Franklin Associates, P. Village, August 2009.
- [9]. „Glass“ interni časopis Vetropac Straže, izdanje:2010.
- [10]. Globalized Solutions for Sustainability in Manufacturing- J.Hesselbach, C.Herrmann, 2011. Germany
- [11]. The International Journal of Life Cycle Assessment- M.A. Curran; W. Klöpffer, 2014.
- [12]. Life-Cycle Assessment of Energy and Environmental Impacts of LED Lighting Products, Navigant Consulting, Inc, 2012.
- [13]. [http://www.humnasutli.hr/hr/gospodarstvo/vetropack\\_straza/](http://www.humnasutli.hr/hr/gospodarstvo/vetropack_straza/) 3.11.2012.

[14]. [http://www.vetropack.hr/hm/glaserstellung\\_6.htm](http://www.vetropack.hr/hm/glaserstellung_6.htm) 3.11.2012.

[15].[http://katalog.vetropack.com/vetropack\\_b2c/b2c/start.do;jsessionid=\(J2EE15733500\)ID0838830651DB55ba3eea1045ee27647d37b026b804e354e1afb4End;saplb\\_\\*\(J2EE15733500\)15733551](http://katalog.vetropack.com/vetropack_b2c/b2c/start.do;jsessionid=(J2EE15733500)ID0838830651DB55ba3eea1045ee27647d37b026b804e354e1afb4End;saplb_*(J2EE15733500)15733551)

[16]. [http://vetropack.inettools.ch/upload/dokumente/hartglas\\_HR.pdf](http://vetropack.inettools.ch/upload/dokumente/hartglas_HR.pdf) 4.11.2012.

[17].[http://vetropack.inettools.ch/upload/dokumente/vetrotime\\_2011\\_2\\_hr.pdf](http://vetropack.inettools.ch/upload/dokumente/vetrotime_2011_2_hr.pdf)  
3.11.2012.

[18]. [http://vetropack.inettools.ch/upload/dokumente/gb\\_2011\\_e.pdf](http://vetropack.inettools.ch/upload/dokumente/gb_2011_e.pdf) 3.11.2012.

[19]. <http://www.answers.com/topic/green-production>

[20]. [http://www.cro-cpc.hr/cist\\_proizv.html](http://www.cro-cpc.hr/cist_proizv.html)

[21]. [http://www.life-cycle.org/?page\\_id=125](http://www.life-cycle.org/?page_id=125)

[22]. Bilješke sa predavanja, FSB