

Univerza  
v Ljubljani  
Fakulteta  
*za gradbeništvo  
in geodezijo*

*Janova 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
telefon (01) 47 68 500  
faks (01) 42 50 681  
fgg@fgg.uni-lj.si*



Univerzitetni program Gradbeništvo,  
Komunalna smer

Kandidat:

**Goran Boštjančič**

# **Analiza življenjskega cikla gradbenih proizvodov**

**Diplomska naloga št.: 2941**

**Mentor:**  
izr. prof. dr. Jana Šelih

Ljubljana, 27. 3. 2007

## **IZJAVA O AVTORSTVU**

Podpisani **GORAN BOŠTJANČIČ** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom: **METODA ANALIZE ŽIVLJENJSKEGA CIKLA (LCA)** .

Izjavljam, da prenašam vse materialne avtorske pravice v zvezi z diplomsko nalogo na UL, Fakulteto za grabeništvo in geodezijo.

Ljubljana, 2007

---

( podpis )

## **ZAHVALA**

Za pomoč pri nastajanju diplomske naloge se najlepše zahvaljujem mentorici doc. dr. Jani Šelih ter betonarni Rokava d.o.o. za posredovanje podatkov, ki smo jih potrebovali za izdelavo analize življenjskega cikla. Vsa zahvala gre tudi moji družini in Vanji, ki so mi ves čas študija stali ob strani, me podpirali in vzpodbujali.

## **BIBLIOGRAFSKO–DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

<b>UDK:</b>	<b>504:69.059.4(043.2)</b>
<b>Avtor:</b>	<b>Goran Boštjančič</b>
<b>Mentor:</b>	<b>Doc. dr. Jana Šelih</b>
<b>Naslov:</b>	<b>Analiza življenjskega cikla gradbenih proizvodov</b>
<b>Obseg in oprema:</b>	<b>95 strani, 16 preglednic, 26 slik</b>
<b>Ključne besede:</b>	<b>analiza življenjskega cikla, okolje, ravnanje z odpadki, stroškovna analiza, armirano betonska stena, inventar življenjskega cikla</b>

### **Izvleček**

Diplomsko delo obravnava problematiko vpliva posameznega proizvoda ali procesa na okolje. V ta namen so v devetdesetih letih razvili metodo analize življenjskega cikla (LCA), ki določa in vrednoti vpliv posameznega proizvoda ali procesa na okolje skozi celoten cikel njegovega življenja, torej od priprave surovin pa vse do razgradnje.

Diplomsko delo na kratko predstavi zgodovino nastanka metode, njen razvoj, opisuje njene sestavne dele, osnove, načela, omejitve in navodila za potek študije. Predstavljeni so obstoječi standardi za izvedbo analize. V nalogi je povzetih nekaj primerov uporabe metode v gradbeništvu, ki so opisane v razpoložljivi literaturi. Dobljeni rezultati dokazujejo, da je metoda analize življenjskega cikla zelo uporabna metoda za ocenjevanje in vrednotenje okoljskih vplivov skozi celoten življenjski cikel, torej, ki se pojavljajo med proizvodnjo, uporabo in odstranitvijo gradbenih proizvodov oziroma objektov.

Naloga prikazuje primer analize življenjskega cikla dveh alternativnih armiranobetonskih elementov s pomočjo komercialne programske opreme SimaPro. Iz rezultatov je moč ugotoviti, da povzroča največji vpliv na okolje izbira uporabljenih materialov, pri betonu cement, ter način z ravnanja z izdelkom po uporabi.

## **BIBLIOGRAPHIC–DOCUMENTALISTIC INFORMATION**

**UDC:** 504:69.059.4(043.2)  
**Author:** Goran Boštjančič  
**Assist. Prof:** Doc. dr. Jana Šelih  
**Title:** Life Cycle Analysis of construction produces  
**Volume and appendices:** 95 pages, 16 tables, 26 pictures  
**Key words:** life cycle analysis, environment, waste management,  
cost benefite analysis, reinforced concrete wall, life cycle inventory

### **Abstract**

The thesis deals with assessing the environmental impact of a selected product or process. For this purpose, life cycle assessment analysis (LCA) method was developed in the nineties. The method evaluates the influence of the product/process throughout its life cycle, from raw materials extraction to its end of life.

First, the development of the method is briefly presented, together with its fundamentals, methodology, elements, limitations and guidelines. The existing standards are presented. A few examples available in the literature that are relevant for construction are presented. Results of these studies show that LCA is a useful metohd to evaluate and assess the environmental impacts throughout the life cycle, i.e. influences that appear during production, use and removal of construction products and buildings.

Further, a comparative study of two reinforced concrete walls was carried out by using commercially available software SimaPro. The obtained results show that for the case considered, the largest influence upon the environment stems from the cement production and the selected end-of-life scenario.

## KAZALO VSEBINE

<b>1</b>	<b>UVOD .....</b>	<b>3</b>
1.1	Opredelitev problema .....	3
1.2	Namen naloge .....	3
1.3	Vsebina naloge.....	3
<b>2</b>	<b>ANALIZA ŽIVLJENJSKEGA CIKLA (LCA, LIFE CYCLE ASSESSMENT) .....</b>	<b>3</b>
2.1	Predstavitev analize življenjskega cikla.....	3
2.2	Zakaj uporaba analize življenjskega cikla .....	3
2.3	Uporaba analize življenjskega cikla skupaj s stroškovno analizo .....	3
2.3.1	Direktni stroški .....	3
2.3.2	Sekundarni stroški .....	3
2.3.3	Družbeni stroški.....	3
2.4	Glavni koraki v LCA.....	3
2.4.1	Opredelitev ciljev in obsega študije .....	3
2.4.1.1	Optimalna izraba virov.....	3
2.4.1.1.1	Definicija cilja projekta.....	3
2.4.1.1.2	Določitev tipa potrebnih informacij za proces odločanja .....	3
2.4.1.1.3	Namen raziskave in s tem povezana natančnost podatkov .....	3
2.4.1.1.4	Faze, ki jih LCA-metoda zajema.....	3
2.4.2	Določitev inventarja življenjskega cikla .....	3
2.4.2.1	Ključni koraki inventarja življenjskega cikla .....	3
2.4.2.2	Razvoj diagrama procesnega poteka .....	3
2.4.2.3	Razvoj načrta za zbiranje podatkov.....	3
2.4.2.4	Zbiranje podatkov .....	3
2.4.2.5	Vrednotenje in poročanje o rezultatih .....	3
2.4.3	Ovrednotenje vplivov .....	3
2.4.3.1	Opis metodologije Eco-indicator 99.....	3
2.4.3.1.1	Izbor in definicija kategorij.....	3
2.4.3.1.2	Klasifikacija .....	3
2.4.3.1.3	Karakterizacija.....	3
2.4.3.2	Ocenitev škode.....	3
2.4.3.2.1	Normalizacija.....	3
2.4.3.2.2	Tehtanje.....	3
2.4.4	Interpretacija rezultatov .....	3
2.4.4.1	Identifikacija pomembnih podatkov.....	3
2.4.4.2	Ocena popolnosti, natančnosti in skladnosti podatkov .....	3
2.4.4.3	Sprejemanje sklepov in priporočil.....	3
2.4.5	Poročanje o rezultatih.....	3
2.5	Funkcionalna enota.....	3
<b>3</b>	<b>OPIS STANDARDOV, KI OBLIKUJEJO LCA-METODO .....</b>	<b>3</b>
3.1	Zgradba sistema.....	3

---

3.2	Standard ISO 14040:1997, Ravnanje z okoljem – Ocenjevanje življenjskega cikla, Načela in okviri .....	3
3.2.1	Obseg standarda .....	3
3.2.2	Napotki glede uporabe standarda .....	3
3.2.3	Definicija ključnih besed .....	3
3.2.4	Splošni opis LCA-metode .....	3
3.2.4.1	Ključne značilnosti LCA-metode .....	3
3.2.4.2	Faze, ki sestavljajo LCA-metodo .....	3
3.2.5	Metodologija .....	3
3.2.6	Analiza inventarja življenjskega cikla .....	3
3.2.7	Vrednotenje vplivov življenjskega cikla .....	3
3.2.8	Interpretacija življenjskega cikla proizvoda .....	3
3.2.9	Poročanje .....	3
3.2.10	Kritična presoja .....	3
3.3	Standard ISO 14041:1997 – Ocenjevanje življenjskega cikla – Opredelitev cilja in obsega ter analiza inventarja .....	3
3.3.1	Obseg standarda .....	3
3.3.2	Sestava analize inventarja življenjskega cikla .....	3
3.3.3	Procesna enota .....	3
3.3.4	Kategorije podatkov .....	3
3.3.5	Cilj in obseg študije .....	3
3.3.6	Analiza inventarja življenjskega cikla .....	3
3.4	Standard ISO 14042:2000, Ravnanje z okoljem – Ocenjevanje življenjskega cikla – Ovrednotenje vplivov na okolje (LCIA) .....	3
3.4.1	Ključni pojmi pri LCIA .....	3
3.4.2	Elementi analize inventarja življenjskega cikla .....	3
3.4.3	Koncept kategorij indikatorjev .....	3
3.4.4	Klasifikacija .....	3
3.4.5	Karakterizacija .....	3
3.4.6	Normalizacija .....	3
3.4.7	Razvrstitev .....	3
3.4.8	Tehtanje .....	3
3.4.9	Analiza kakovosti podatkov .....	3
3.4.10	Omejitve pri analizi inventarja življenjskega cikla .....	3
<b>4</b>	<b>PREDSTAVITEV UPORABE ANALIZE ŽIVLJENJSKEGA CIKLA V GRADBENIŠTVU .....</b>	<b>3</b>
4.1	Primer uporabe LCA metode pri izbiri materiala .....	3
4.2	Prikaz vpliva na okolje in stroškov različnih konstrukcijskih modelov s pomočjo LCA-metode .....	3
4.2.1	Primer kvadratnega metra stropne konstrukcije .....	3
4.2.2	Izbira med prefabriciranimi nosilci in nosilci, narejenimi na gradbišču .....	3
4.2.3	Primerjava vpliva različnih načinov gradnje .....	3
4.3	Prikaz načina odločanja o zasnovi objekta s pomočjo metode LCA .....	3
<b>5</b>	<b>ANALIZA VPLIVA PROIZVODNJE BETONSKE STENE .....</b>	<b>3</b>

---

5.1	Računalniški program SimaPro 7 Demo .....	3
5.2	Opis programa SimaPro 7 .....	3
5.2.1	Goal and scope (definiranje cilja in obsega študije).....	3
5.2.2	Inventory (inventar) .....	3
5.2.3	Impact assessment (vplivne kategorije) .....	3
5.2.4	Interpretation (interpretacija rezultatov) .....	3
5.3	Analiza življenjskega cikla za primera AB-stene, izdelane na gradbišču, in prefabriciranega elementa .....	3
5.3.1	Masivna stena, izdelana na gradbišču .....	3
5.3.2	Masivna stena kot prefabriciran element .....	3
5.3.2.1	Primerjava rezultatov med armiranobetonsko steno, izdelano na gradbišču in prefabricirano armiranobetonsko steno .....	3
5.3.2.2	Primerjava naših rezultatov z rezultati programske opreme Eco-concrete .....	3
<b>6</b>	<b>ZAKLJUČEK .....</b>	<b>3</b>
	<b>VIRI .....</b>	<b>3</b>
	Uporabljeni viri .....	3
	Ostali viri .....	3



## KAZALO SLIK

Slika 2.1: Faze življenjskega cikla in vpliv na okolje.....	5
Slika 2.2: Delež posameznih zunanjih stroškov v nacionalnem BDP leta 2002.....	9
Slika 2.3: Ekonomski efekt okoljske takse.....	10
Slika 2.4: Sestava analiza življenjskega cikla.....	11
Slika 2.5: Življenjski cikel proizvoda .....	14
Slika 2.6: <i>Diagram poteka (Urh, 200 )</i> .....	17
Slika 2.7: <i>Prikaz normiranih vrednosti v primeru papirnatih in LDPE vrečk</i> .....	27
Slika 3.1: <i>Zgradba sistema skupine ISO-standardov</i> .....	31
Slika 3.2: <i>Faze analize življenjskega cikla</i> .....	38
Slika 3.3: <i>Primer analize inventarja življenjskega cikla</i> .....	44
Slika 3.4: <i>Prikaz procesnih enot znotraj sistema izdelka</i> .....	45
Slika 3.4: <i>Prikaz poteka analize in inventarja življenjskega cikla</i> .....	47
Slika 3.5: <i>Sestavni deli LCIA</i> .....	49
Slika 3.6: <i>Primer dodeljevanja indikatorjev posameznim kategorijam</i> .....	50
Slika 4.1: <i>Prikaz razmerja med volumnom gradbenega materiala in volumnom porabljenih surovin</i> .....	54
Slika 4.2: <i>Prikaz skupnih stroškov za kvadratni meter stropa glede na razpon</i> .....	57
Slika 4.3: <i>Primerjava vpliva različnih načinov gradnje na okolje</i> .....	60
Slika 4.4: <i>Prikaz termalnih mas posameznih materialov</i> .....	64
Slika 4.5: <i>Sistem, ki izkorišča termalni zrak v betonskih elementih</i> .....	65
Slika 5.1: <i>Prikaz uvodne strani programa, skupaj z ukazi, ki se na tej strani nahajajo</i> .....	69
Slika 5.2: <i>Prikaz vplivnih kategorij</i> .....	70
Slika 5.3: <i>Koncept trikotne mreže, ki jo uporablja program SimaPro pri izbiri faktorjev tehtanja</i> .....	72
Slika 5.4: <i>Shematski prikaz snovnih tokov (gibanja surovin in vmesnih proizvodov) v proizvodnji armiranobetonske stene – betoniranje na gradbišču</i> .....	75
Slika 5.5: <i>Mrežni prikaz rezultatov analize betonske stene, izdelane na gradbišču</i> .....	78
Slika 5.6: <i>Shematski prikaz snovnih tokov (gibanja surovin in vmesnih proizvodov) v proizvodnji prefabricirane armiranobetonske stene</i> .....	81
Slika 5.7: <i>Prikaz mrežne strukture za prefabricirano armirano betonsko steno</i> .....	84

## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1.1: Statistična vednost človeških življenj.....	3
Preglednica 2.1: Podatki o kazalnikih vplivov.....	25
Preglednica 2.2: Primer kontrolne liste in potencialnih neskladnosti.....	31
Preglednica 4.1: Primerjava vpliva na okolje montažnih konstrukcij.....	58
Preglednica 4.2: Poraba energije pri proizvodnji stropov.....	59
Preglednica 4.3: Prikaz nekaterih količin odpadkov, ki nastajajo pri gradnji.....	61
Preglednic 4.4: Pregled porabe energije v obdobju petdesetih let za enodružinsko hišo.....	63
Preglednica 5.1: Prikaz primera vprašalnika, ki ga lahko najdemo na domači strani organizacije.....	71
Preglednica 5.2: Prikaz vhodnih podatkov za primer armirano betonske stene.....	75
Preglednica 5.3: Rezultati (primer masivne stene, izdelane na gradbišču).....	77
Preglednica 5.4: Procentualni prikaz rezultatov po posameznih procesih in materialnih elementih.....	78
Preglednica 5.5: Prikaz vhodnih podatkov za primer armirano betonske stene.....	81
Preglednica 5.6: Prikaz rezultatov za primer prefabricirane armirano betonske stene.....	83
Preglednica 5.7: Podrobni pregled prispevkov posameznih procesov in materialov k vplivu na okolje prefabricirane stene.....	84
Preglednica 5.8: Primerjava rezultatov med analiziranimi primeroma armirano betonske stene, izdelane na gradbišču, in prefabricirane armirano betonske stene.....	86
Preglednica 5.9: Primerjava rezultatov našega primera z Mateličevim primerom.....	88

## OKRAJŠAVE IN OZNAKE

<b>SETAC</b>	Society for Environmental Toxicology and Chemistry (Zavod za okoljsko toksikologijo in kemijo)
<b>USEPA</b>	US Environmental Protection Agency (ameriški oddelek za okolje)
<b>EPA</b>	Environmental Protection Agency (okoljevarstveni oddelek)
<b>LCA</b>	Life cycle assessment (analiza življenjskega cikla)
<b>LCI</b>	Life cycle inventory (inventar življenjskega cikla)
<b>LCIA</b>	Life cycle impact assessment (vrednotenje vplivov življenjskega cikla)
<b>ISO</b>	International standards organization (mednarodna organizacija za standardizacijo)



# 1 UVOD

## 1.1 *Opredelitev problema*

Človekove dejavnosti vedno močneje posegajo v okolje, kar se izraža v negativnih okoljskih vidikih. Tako so na primer posledica nepremišljenega krčenja gozdov velika sušna obdobja in veliko padavin, ki po svetu povzročajo poplave in terjajo veliko človeških življenj. Nekateri plini, ki jih spuščamo v ozračje, povzročajo ozonsko luknjo in segrevanje ozračja. V velikih mestih se pojavlja problem onesnaženja zraka, ki zmanjšuje kakovost bivanja, povzroča bolezni dihal in kisel dež. Nadalje predstavljajo velik problem vse večja količina odpadkov, ki jih je težko reciklirati.

Opazovanje opisanih pojavov je spodbudilo znanstvenike k razmišljanju o varovanju okolja in oblikovanju okoljske politike. Različne inštitucije so začele pripravljati predpise in osveščati ljudi o pomenu varovanja okolja. Zaskrbljenost zaradi vse večje degradacije okolja je vzpodbudila številne raziskave, ki so rezultirale v razvoju metod za oceno vplivov človekovih dejavnosti na okolje. Med takšne metode sodi tudi analiza življenjskega cikla proizvodov. (LCA.)

Analiza življenjskega cikla proizvodov (Life Cycle Assessment, LCA) je metoda za vrednotenje vpliva proizvoda ali procesa na okolje. Metoda spremlja proizvod skozi njegovo celotno obdobje. Začne s pridobivanjem in pripravo surovin, vgradnjo teh v polproizvode, sestavljanje polproizvodov v proizvod, vzdrževanje proizvoda med uporabo in ravnanjem z izdelkom ob izteku njegove življenske dobe. LCA lahko uporabljamo tudi za ovrednotenje vpliva na okolje, za pomoč pri odločitvi o izboru med dvema ali več izdelki, itd.

Prvi koraki pri oblikovanju omenjene metode so se pojavili leta 1970, ko je Združenje za okoljsko toksikologijo in kemijo (Society for Environmental Toxicology and Chemistry, SETAC) v Severni Ameriki, skupaj z oddelkom za okoljevarstvo (US Environmental Protection Agency, USEPA) organiziral prve delavnice na to temo. Poleg Amerike so na tem področju zelo dejavne tudi skandinavske države, Nizozemska, Danska, Anglija in Japonska. Te države spodbujajo uporabo metode pri sprejemanju odločitev, razvijajo programsko opremo in oblikujejo ustrezne standarde.

Metodo oblikujeta dva pomembna koraka:

- Obravnavati vse emisije in surovine, ki v nek proces vstopajo. To z drugo besedo imenujemo inventar.
- Analizirati vplive na okolje vseh emisij in surovin, ki so v ta proces vstopile. Ta del imenujemo analiza vpliva.

Namen metode je ovrednotiti vpliv, ki ga ima določen izdelek na okolje, za kar pa je potrebno izdelati podatkovne baze. Prav to je v začetku razvoja metode predstavljalo največji problem. Po vsem svetu so opravili številne raziskave, s katerimi so dobili različne podatke. Ti se med državami razlikujejo, vendar pa nam njihovo povprečje da najboljše rezultate.

## **1.2 Namen naloge**

V diplomski nalogi želimo predstaviti metodo življenjskega cikla proizvodov, ki postaja pomemben del načrtovanja izdelkov in jo lahko uporabimo za zmanjševanje škodljivega vpliva industrije na okolje. Predvsem pa bi radi predstavili uporabo omenjene metode v gradbeništvu, kjer je njena uporaba manj razširjena, kot metode za odločanje o izbiri tehnologije in vrstah uporabljenih surovin v gradbeni proizvodnji.

Metoda je v Sloveniji slabo poznana, saj jo omenjata le doktorska disertacija (Lipušček, 2005.) in diplomsko delo. (Matelič, 2006.)

## **1.3 Vsebina naloge**

Diplomska naloga vključuje pet poglavij. Po uvodnem delu sledi poglavje, v katerem opišemo metodo analize življenjskega cikla proizvoda (LCA), opišemo osnove in ključne korake pri uporabi metode. Tretje poglavje predstavlja skupino standardov ISO 14000, ki kot osnovo uporabljajo analizo življenjskega cikla. V četrtem poglavju predstavljamo uporabo LCA v gradbeništvu. Zadnje poglavje opisuje programsko opremo SimaPro 7 Demo, s katero sta obdelana tudi dva primera.

V prvem poglavju sta predstavljena pogled ter namen uporabe analize življenjskega cikla. Drugo poglavje v celoti predstavi glavne korake pri študiji in poda odgovor, zakaj naj uporabljamo metodo ter kako je kombinacija omenjene metode skupaj s stroškovno analizo merilo pri odločanju in izbiri ustreznega produkta. V tretjem poglavju diplomskega dela je opisana skupina standardov ISO 1404, ki predstavljajo glavna načela in pravila za potek študije. Kako lahko uporabimo LCA-metodo v gradbeništvu, nam opisuje četrto poglavje, v katerem je predstavljenih nekaj primerov, ko lahko napačna izbira materiala ali načina gradnje bistveno bolj vpliva na okolje. Peto poglavje predstavlja računalniški program SimaPro 7, v katerem sta obdelana dva praktična primera. Diplomsko delo se zaključi s šestim poglavjem, v katerem je predstavljeno naše mnenje.

## **2 ANALIZA ŽIVLJENJSKEGA CIKLA (LCA, LIFE CYCLE ASSESSMENT)**

### **2.1 Predstavitev analize življenjskega cikla**

Namen analize življenjskega cikla je predvsem določiti vpliv na okolje izbranega proizvoda ali procesa, saj je s tem povezano zdravje ljudi, ki v tem okolju živijo, obenem pa s takšno analizo zajamemo tudi siromašenje surovinskih virov, ki jih potrebujemo za proizvodnjo.

Metodo LCA lahko opredelimo kot objektivno metodo za vrednotenje oz. določitev ekološkega bremena, povezanega z izbranim izdelkom, procesom ali aktivnostjo. Metoda poleg identificiranja in izmere energije, uporabljenih materialov in odpadkov, spuščeni v okolje, ocenjuje tudi vpliv energije in materialov, uporabljenih iz okolja in spuščeni v okolje. Z njo lahko tudi predlagamo in določimo možnosti za izboljšanje obravnavanih proizvodov ali procesov.

Ocena življenjskega ciklusa izdelkov je metoda, s katero ovrednotimo obremenitve okolja, povezane s proizvodnjo izdelka ali s storitvijo, tako da ugotovimo, koliko energije in materialov glede na vrsto in količino je potrebnih, kakšne so vrste in količine odpadkov in emisij v okolje ter kakšne so možne posledice za okolje. Z oceno življenjskega ciklusa izdelkov je možno predvideti možne izboljšave v odnosu do okolja. Ocene vključujejo celotno LCA, vključno z načrtovanjem, izdelavo, transportom in distribucijo, pakiranjem, uporabo, vzdrževanjem, morebitnim recikliranjem in končnim odlaganjem na odpad.

Na sliki 2.1 so prikazane faze LCA in glavni ekološki parametri, za katere je potrebno zbrati informacije o vplivih na okolje, ki jih nato preučujemo in ovrednotimo z metodo večparametričnega odločanja. (Lipušček, 2005.)





Slika 2.1: Faze življenjskega ciklusa in vplivi na okolje (Lipušček, 2006.)

Za boljši rezultat analize proizvoda skozi njegov življenjski cikel je potrebno zajeti vse faze, jih obravnavati ločeno in neodvisno med seboj. Za vsako izmed teh faz je potrebno zbrati podatke. Teh podatkov je zelo veliko, zato je ta korak izmed spodnjih štirih zelo pomemben.

## 2.2 Zakaj uporaba analize življenjskega cikla

Čisto okolje predstavlja cilj današnje družbe. Ekološko osveščeni kupci se vse bolj odločajo za nakup izdelkov, katerih surovine, proizvodnja, uporaba in odstranjevanje ne predstavljajo prevelikega bremena za okolje. Zavedajo se, da posamezni izdelki oziroma skupine izdelkov in njihova izdelava različno vplivajo na onesnaževanje okolja, v katerem bivajo. Če je bilo upoštevanje varstva okolja pri posameznem izdelku še včeraj le nekaj postranskega in nepotreben dodaten strošek, je danes pomemben prodajni argument, že jutri pa bo temeljni pogoj, da bo izdelke sploh mogoče prodajati.

Zato je potrebno izoblikovati metodo za vrednotenje ekološke kakovosti posameznih izdelkov, kar pomeni analizirati njihovo ekološko primernost ločeno po posameznih fazah njihovega celotnega

življenjskega ciklusa. Problem določanja in zagotavljanja ekološke kakovosti izdelka ni samo stvar ekološke osveščenosti proizvajalcev in uporabnikov, temveč tudi pomembna konkurenčna prednost, ki si jo lahko na domačem in tujih trgih pridobi proizvajalec. Potrebno je torej oblikovati sistem za ugotavljanje ekološke kakovosti tekom celotnega življenjskega ciklusa izdelkov.

Vendar pa tu ne smemo pozabiti, da metoda ni namenjena ugotavljanju, kateri izdelek je v primerjavi z drugim cenejši. LCA nam tudi ne da odgovora na vprašanje, kateri izdelek naj izberemo. Zavedati se moramo, da je analiza življenjskega cikla proizvoda le orodje, s katerim dobimo oceno vpliva na okolje, ki ga nek proizvod povzroči skozi svoj življenjski cikel.

Zelo priporočljiva je uporaba analize življenjskega cikla (LCA) skupaj s stroškovno analizo življenjskega cikla (LCC). Skupni rezultat pa je že lahko merilo, na osnovi katerega se kupec odloči za enega izmed alternativnih izdelkov.

Od analize življenjskega cikla ni pričakovati, da nam bo podala odgovor na vprašanje, kateri izdelek je okoljsko bolj sprejemljiv. Rezultate je potrebno upoštevati v širšem procesu raziskav in le kot dodatek k ceni in kvaliteti proizvoda ali storitve. Poleg tega pa je za izvedbo same analize potrebno analizirati veliko količino podatkov. Zbiranje podatkov je zelo drag in zamuden proces, vendar pa je od tega odvisen rezultat metode.

## **2.3 Uporaba analize življenjskega cikla skupaj s stroškovno analizo**

### **2.3.1 Direktni stroški**

Direktni stroški (*»private costs«*) zajemajo količino stroškov, ki so nastali neposredno pri proizvodnji posameznih produktov, prevozu blaga, montaži in demontaži izdelkov ter vzdrževanju in recikliranju.

Med direktne stroške sodijo:

- *stroški, ki nastanejo pri proizvodnji in pripravi surovin, ki nastopajo v proizvodnem procesu določenega proizvoda* (elektrike, goriva, plač uslužbencev, amortizacije ...)
- *stroški prevoza* (gorivo, plače prevoznikov, amortizacija prevoznih sredstev ...)
- *stroški montaže* (plače, uporaba dvizhnih sredstev pri delu na višini, elektrike ...)
- *stroški vzdrževanja* (energija, reprodukcijski material ...)
- *stroški odstranitve ali reciklaže proizvoda* (uporaba tovarnjakov, plač delavcev, uporabe odlagališč, sežigalnic ...)

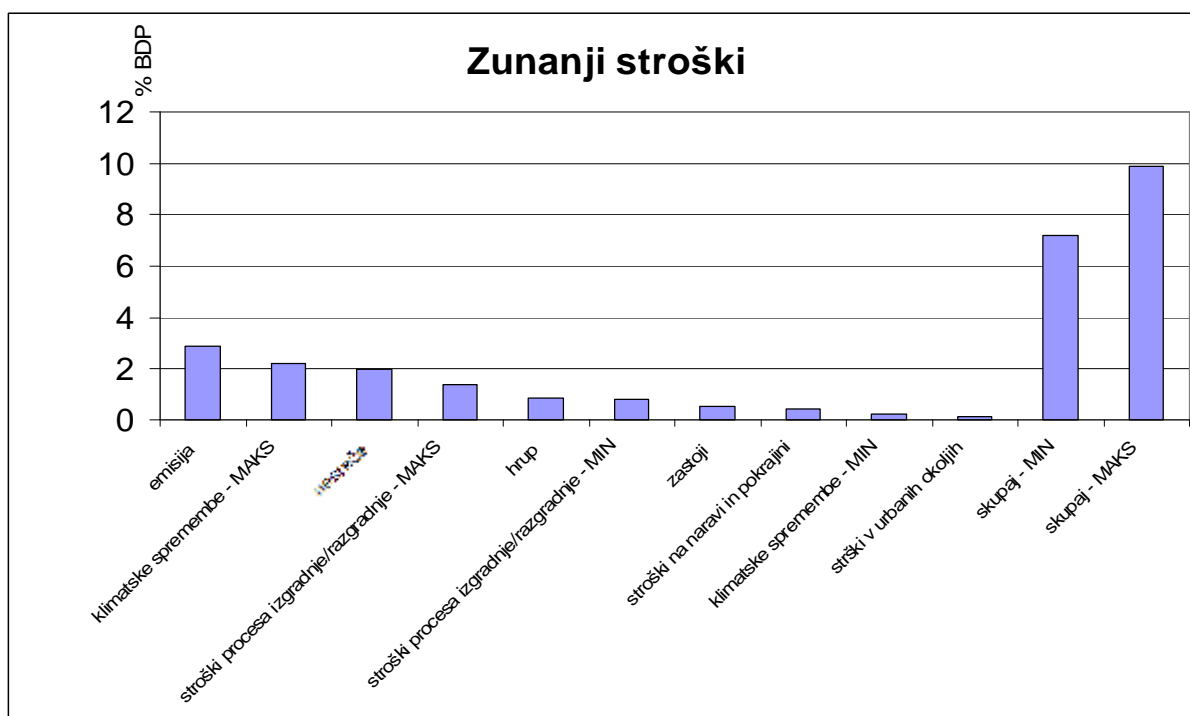
Direktne stroške plača kupec direktno s ceno produkta ali storitve. Na primer, ko podjetnik plača delavce za opravljeno delo, natančno ve, kolikšna je njihova plača in koliko ga bo delo stalo. Podobno je z najemnikom; ta natančno ve, koliko znaša najemnina za najeto stanovanje. To so torej stroški, s katerimi se srečujemo vsak dan. (Myers, 2006.)

### **2.3.2 Sekundarni stroški**

Eksterni oz. sekundarni stroški nastajajo v proizvodnih procesih kot negativni učinki, ki vplivajo na ekonomske, družbene in okoljske sisteme, na odnose med gospodarskimi panogami, med proizvodnjo in okoljem, med proizvajalci in potrošniki, ter se izražajo v denarni in tehnološki obliki. Tržne cene energije, ki ne vsebujejo eksternih stroškov, ne izražajo celotnih družbenih stroškov proizvodnje energije. Ne upoštevajo namreč negativnih posledic, ki jih ima proizvodnja energije na človekovo zdravje in okolje. Cene energije, ki ne vsebujejo eksternih stroškov, so prenizke, zato potrošnik plača manj kot potroši, oziroma potroši preveč energije. Kot primer lahko navedemo, da bi bila cena elektrike, ki se proizvede iz premoga in bi imela vračunane eksterne stroške, v večini držav EU višja od 2-7 %. (European Environmental Agency, 2002.)

Primeri sekundarnih stroškov so:

- *stroški, nastali pri proizvodnji surovin in izdelkov* (količina CO<sub>2</sub>, SO<sub>4</sub>, nastalih v izpušnih plinih pri izgorevanju, onesnaževanje rek zaradi pridobivanja električne energije, ki jo v proizvodnji potrebujemo; škoda, nastala zaradi hrupa ...)
- *stroški, nastali pri prevozu materiala in izdelkov* (stroški zaradi izpušnih plinov prevoznih sredstev; stroški nastali zaradi hrupa ...)
- *stroški montaže izdelkov* (stroški zaradi hrupa žerjavov; stroški, nastali kot posledica odvržene embalaže, strošek kot posledica nesreče delavca na gradbišču ...)
- *stroški vzdrževanja in obratovanja objekta* (stroški zaradi emisij plinov, nastalih pri ogrevanju stavb ...)
- *stroški recikliranja* (stroški zaradi hrupa, stroški zaradi odpadkov, ki nastajajo ob recikliranju, stroški energije, ki jo porabimo pri odstranitvi objekta ...)



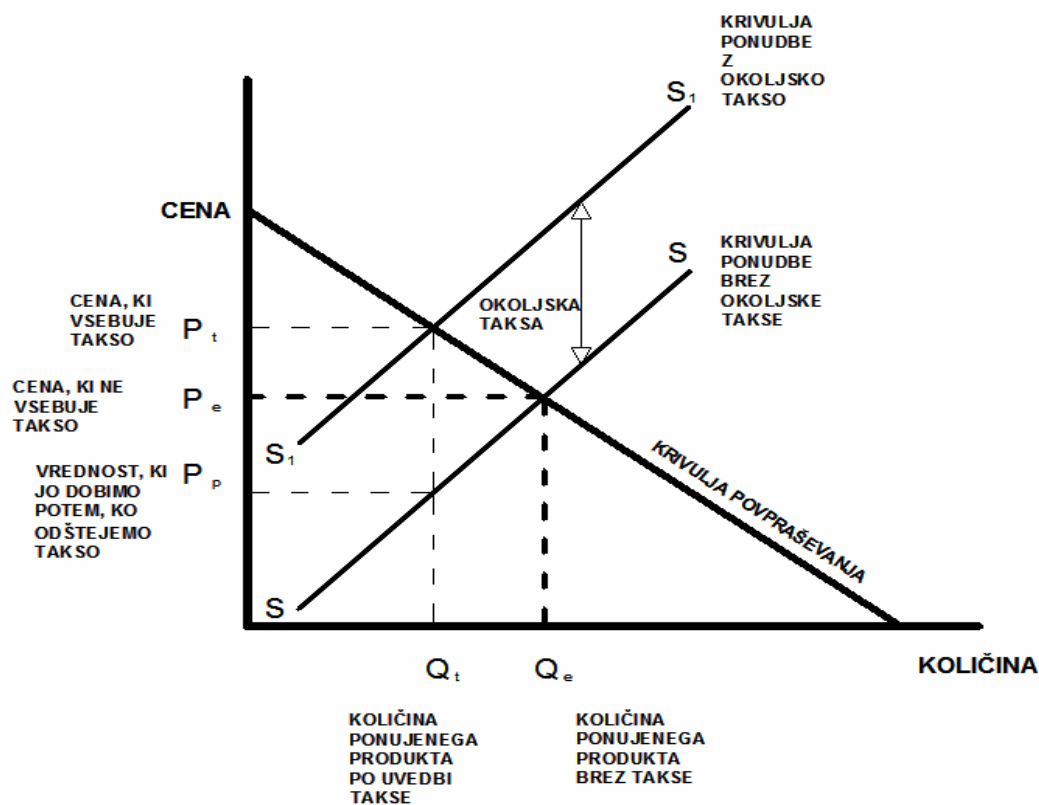
Slika 2.1: Delež posameznih zunanjih stroškov v Slovenskem nacionalnem BDP-ju leta 2002. (Agencija republike Slovenije za okolje in prostor, 2004.)

Na sliki 2.1 prikazujemo ocenostroškov posameznih vrst zunanjih stroškov v Sloveniji. Vidimo, da dosejajo skupni zunanji stroški kar 30 odstotkov BDP-ja.

### 2.3.3 Družbeni stroški

Družbeni stroški (*»social costs«*) so vsota direktnih in sekundarnih stroškov. To so stroški, ki dejansko nastanejo v nekem življenjskem ciklu proizvoda. Slabost teh stroškov je, da se jih ne zavedamo. Ko posameznik vstopi v avtomobil, se ne zaveda, da z njegovo vožnjo nastajajo sekundarni stroški, ki jih ne poravnava v celoti. Ko plača gorivo, plača okoljsko takso, ki zajema del sekundarnih stroškov, ne zajema pa stroškov, nastalih zaradi hrupa, poškodb fasad objektov ob cestah in tako dalje.

Odločitve na osnovi ponudbe in povpraševanja, ki bi vsebovale še sekundarne stroške, bi nam prinesle drugačne rezultate. To lahko opazimo na sliki 2.2, ki prikazuje razmerje ponudbe in povpraševanja. Opazimo lahko, da je v primeru, ko k ceni prištejemo še okoljsko takso, za isto količino nekega proizvoda potrebno plačati višjo ceno. Drugače lahko interpretiramo to tudi tako, da za isto ceno dobimo manjšo količino materiala. (Myers, 2006.)



Slika 2.2: Ekonomski učinek okoljske takse (Myers, 2006.)

## 2.4 Glavni koraki v LCA

Organizaciji SETAC in USEPA sta metodi predpisali štiri glavne korake:

1. Opredelitev cilja in obsega študije
2. Določitev inventarja življenjskega cikla
3. Vrednotenje vplivov
4. Interpretacija rezultatov

Navedeni koraki ter njihove medsebojne povezave so prikazane na sliki 2.3.



Slika 2.3: Sestava analize življenjskega cikla (ISO 14040, 1997.)

### 2.4.1 Opredelitev ciljev in obsega študije

V prvem koraku je potrebno določiti okvir naloge, to pomeni, da se je potrebno odločiti, koliko časa bo podeljeno zbiranju podatkov, kako obsežni bodo le ti in koliko finančnih sredstev bomo za to porabili. Končni rezultat je odvisen od količine podatkov, ki jih v začetku obdelamo. Vsaki informaciji moramo določiti vrsto informacije, v katerem procesu odločanja jo potrebujemo, stopnjo natančnosti in način podajanja.

#### 2.4.1.1 Optimalna izraba virov

Za optimalno izrabo virov je v LCA pripravljenih šest osnovnih vprašanj, na katere je potrebno natančno odgovoriti. Ta vprašanja so sledeča:

- definicija cilja projekta
- določitev tipa informacij, potrebnih za proces odločanja
- določitev ureditve podatkov in prikaz rezultatov
- določitev vsebine LCA-metode
- določitev željene natančnosti podatkov
- določitev osnovnih pravil za izvrševanje podatkov

Potrebno se je zavedati, da nas natančnost odgovorov na zgornja vprašanja pripelje do zelene natančnosti končnih rezultatov. Potrebno si je vzeti čas za razmislek in odgovoriti na posamezna vprašanja.

#### ***2.4.1.1.1 Definicija cilja projekta***

Namen analize življenjskega cikla je določiti vpliv proizvoda na okolje skozi njegov življenjski cikel. Kot primaren cilje si tako postavimo varovanje okolja in s tem varovanje človekovega zdravja. Primeri ostalih ciljev, ki nastopajo, kot podcilji temu primarnemu cilju, so lahko še naslednji primeri:

- primerjati vpliv dveh izdelkov
- poiskati obdobje v življenjskem ciklu izdelka, ko ta najbolj obremenjuje okolje
- ugotoviti vplive na določene elemente
- pridobiti informacije o porabljenih količini posameznih snovi (energije, surovin ...)
- določiti količino sproščenih emisij
- pomoč pri razvoju novih produktov

#### ***2.4.1.1.2 Določitev tipa potrebnih informacij za proces odločanja***

Identifikacija vprašanj, katerih odgovori nam služijo pri procesu odločanja, je pomembna za definicijo parametrov študije. Naj navedemo nekaj primerov vprašanj:



- Kateri izmed obravnavanih proizvodov povzroča manjši vpliv na okolje skozi celoten življenjski cikel in kateri le v posameznem delu?
- Kako bo vplivalo na okolje, če izdelek spremenimo?
- Kateri proces povzroča najmanjši vpliv na zakisanje tal, (onesnaževanje okolja) in tanjšanje ozonske luknje?
- Kaj lahko spremenimo, da zmanjšamo vpliv na okolje?

Ko imamo definirana vprašanja, je potrebno določiti še tip informacij, ki so potrebne, da z njimi odgovorimo na vprašanja.

#### ***2.4.1.1.3 Namen raziskave in s tem povezana natančnost podatkov***

Potrebna natančnost podatkov je odvisna od namena uporabe rezultatov. Tukaj je pomembno, ali gre za interno presojo ali za javno raziskavo. V primeru, ko opravljamo javno raziskavo, je potrebna temeljitejša študija. Zajeti je potrebno veliko več podatkov, ki morajo biti tudi natančnejši, kot v primeru, ko izvajamo zgolj interno raziskavo. V primeru interne raziskave se lahko velikokrat omejimo na grobo inženirsko presojo in si s tem nekoliko olajšamo delo in privarčujemo nekaj časa.

#### ***2.4.1.1.4 Faze, ki jih LCA-metoda zajema***

Kot smo že rekli, spremlja LCA-metoda proizvod skozi celoten življenjski cikel. Metoda mora tako zajeti vse faze oziroma tiste, ki smo jih določili v *definiciji cilja projekta*. Organizaciji SETAC in USEPA sta metodi dodelili štiri glavne faze življenjskega cikla. Te so:

- pridobivanje surovin
- proizvodnja
- uporaba, vzdrževanje
- recikliranje, upravljanje z odpadki



Slika 2.4: Življenjski cikel proizvoda (Lipušček, 2006.)

#### *Pridobivanje surovin*

Življenjski cikel nekega proizvoda se začne s pridobivanjem surovin. V ta proces so vključeni: izkopi agregata, čiščenje (sortiranje) materiala, sekanje dreves, prevoz materiala, raztovarjanje in tako dalje.

#### *Proizvodnja*

To je faza, ki poleg vzdrževanja lahko najbolj obremenjuje okolje. Zelo pomembna je tehnologija, ki jo podjetje uporablja za izdelavo nekega proizvoda. Potrebno je uporabljati tehnologijo, ki v zrak spušča čimmanj strupenih plinov in ima majhno potrebo po energetskih virih.

#### *Vzdrževanje*

Študije so pokazale, da se večina energije porabi za ogrevanje pozimi in hlajenje poleti, prav tako pa se veliko elektrike porabi za razsvetljavo in gospodinjske aparate. Zato je zelo pomembno, da načrtujemo takšne konstrukcijske sklope in oblikujemo take proizvode, ki čimbolj zmanjšujejo porabo energetskih virov.

### *Reciklaža*

Kot zadnja faza nastopi reciklaža izdelka. V tej fazi se je potrebno odločiti, ali bomo izdelek pustili v okolju, da ta sam propade, ali ga bomo sami predelali ponovno v surovino in s tem rešili problem podobe okolja. Zavedati se moramo, da potrebujemo za reciklažo izdelkov precejšnjo količino energije. Potem ko izdelek recikliramo, ta lahko ponovno vstopi v fazo priprave surovin, kar pomeni, da začnemo drugi krog življenjskega cikla.

## **2.4.2 Določitev inventarja življenjskega cikla**

Inventar življenjskega cikla zajema popis vseh vplivov na okolje. Potrebno je torej zbrati vse podatke o količinah surovin in energije, ki vstopajo v življenjski cikel proizvoda, ter podatke o količinah emisij, ki se sprostijo v okolje, vodo ali tla. Z dokončanjem inventarja življenjskega cikla dobimo spisek s količinami vseh porabljenih surovin, porabljene energije in količino emisij, ki se je pri tem sprostila. Natančnost teh podatkov nas tedaj pripelje do natančnosti končnega rezultata.

### **2.4.2.1 Ključni koraki inventarja življenjskega cikla**

EPA (*Environment Protection Agency, ZDA*) je leta 1993 izdala smernice in načela inventarja, nato pa leta 1995 izdala še smernice za ocenjevanje kvalitete inventarja analize življenjskega cikla. Omenjena dokumenta sta definirala naslednje korake inventarja življenjskega cikla:

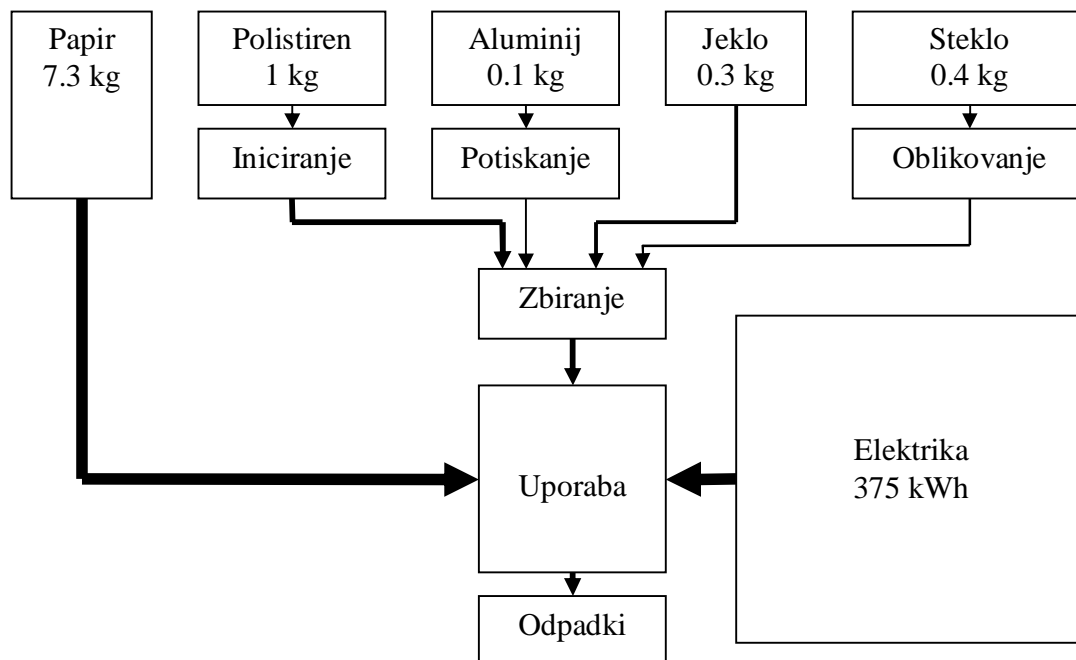
- razvoj diagrama procesnega poteka
- razvoj načrta za zbiranje podatkov
- zbiranje podatkov
- vrednotenje in poročanje rezultatov

### 2.4.2.2 Razvoj diagrama procesnega poteka

Diagram prikazuje vhodne in izhodne enote, ki v nekem procesu nastopajo. Velikost in razvejanost diagrama sta odvisna, od kompleksnosti procesa, ki ga z diagramom opisujemo.

Vsem parametrom je potrebno določiti merske lestvice - zaloge vrednosti, ki jih lahko parametri zavzemajo pri vrednotenju. Prehode z nižjih nivojev diagnostičnega drevesa na višje nivoje definiramo s pomočjo pravil v postopku logičnega sklepanja, s tako imenovanimi funkcijami koristnosti. Izberemo lahko različne funkcije: funkcije utežne vsote, zvezne logike, funkcije na osnovi Bayesovega pravila ... Na podlagi teh funkcij nato računalniško orodje za odločanje razvrsti obravnavani izdelek v posamezno skupino ekološke primernosti. (Lipušček-Oblak, 2006.)

Diagram stanja izdelka nudi sistematičen pregled kritičnih ekoloških parametrov, ki se pojavljajo v posameznih fazah LCA, in je pomemben dejavnik pri oblikovanju proizvodnega programa podjetja.



Slika 2.5: Primer diagrama toka pri proizvodnji naprav za pripravo kave (Flow diagram) (Environmental Protection Agency, 3.11.06.)

### **2.4.2.3 Razvoj načrta za zbiranje podatkov**

Načrt zbiranja podatkov nas vodi k natančnim in kvalitetnim podatkom, ki jih potrebujemo za izdelavo ali dopolnitev inventarja življenjskega cikla. Ključne točke v načrtu zbiranja podatkov so:

#### Definiranje željene kakovosti podatkov

To je ogrodje za določanje razmerja med razpoložljivim časom in viri na eni strani ter potrebno kakovostjo podatkov za določanje obremenitev okolja na drugi strani. (Environmental Protection Agency, 3.11.06.)

Obseg in natančnost podatkov sta povezana z namenom študije, njene natančnosti in obsežnosti. Obseg podatkov in natančnost podatkov nista univerzalna za vse primere, temveč se od primera do primera razlikujeta in jih je težko vnaprej določiti.

Primer podatkov, zajetih v inventar življenjskega cikla, lahko podamo na naslednji način, »zajet naj bo najmanj 95-odstotni delež vložene količine energije in surovin ali naj bodo podatki o emisijah zraka podobni kot v članicah Evropske unije«.

#### Določitev virov in tipa podatkov

Za posamezen podatek, ki je uporabljen v posamezni fazi življenjskega cikla, je priporočljivo, da mu določimo vir in tip podatka. Vir in tip podatka sta pomembna za ažuren in natančen potek študije. Najbolje je, če te podatke zabeležimo takoj, ko jih dobimo, in se s tem izognemo poznejšim iskanjem istih podatkov.

#### Določitev pokazateljev kakovosti podatkov

Za kontroliranje kakovosti podatkov uporabljamo referenčne oz. izhodiščne vrednosti, ki nam pomagajo, da ažurno spremljamo posamezne vrednosti pri oblikovanju inventarja. Referenčne vrednosti lahko pridobimo iz raziskav, ki so bile opravljene v prejšnjih primerih, ali pa na kakšen drugi način.

### Razvoj podatkovne liste in kontrolnega seznama

Kontrolni seznam ali baza podatkov je namenjena zbiranju in pregledovanju podatkov. Izdelamo ga za vsak proces, ki ga vključimo v diagram poteka. Izdelava teh dveh listin je še posebej pomembna pri velikem številu procesov, ki jih zajamemo v diagram poteka.

Kontrolni seznam mora pokrivati naslednja področja:

- namen popisa
- sistemske omejitve
- zemljepisno območje
- vrsto podatkov
- postopek zbiranja podatkov
- stopnjo podatkovne kakovosti
- pojasnilo računskega modela
- predstavitev rezultatov

#### **2.4.2.4 Zbiranje podatkov**

Zbiranje podatkov je proces, pri katerem je potrebno v diagram poteka vnesti vse potrebne količinske podatke. Vendar to ni enostaven proces, saj je nekatere podatke težko dobiti, druge pa je težko prevesti na skupno funkcionalno enoto.

Veliko količino podatkov, ki jih v diagramu potrebujemo, je najlažje voditi z lastnimi ali komercialnimi programi, ki imajo že vnaprej izdelan inventar. Organizacije, ki izdelujejo takšne programe, imajo svoje lastne baze. To nam bistveno olajša delo in privarčuje veliko časa, ki bi ga sicer potrebovali za izdelavo take baze.

### **2.4.2.5 Vrednotenje in poročanje o rezultatih**

Po končani pripravi baze inventarja življenjskega cikla sledi še vrednotenje in poročanje o rezultatih, ki jih potem naprej uporabimo pri vrednotenju vplivov na okolje.

V nekaterih primerih se nam lahko zgodi, da je rezultat negativen, kar pomeni, da so bili rezultati premalo natančni in nam metoda ni mogla dati zastavljenih zaključkov. Zato je pomembno definirati vse analizirane podatke, opisati vse predpostavke, omejitve in metode, ki smo jih pri pripravi baze sprejeli. To nam je v veliko pomoč pri kasnejših vnosih popolnejših in natančnejših podatkov.

Končni rezultat popisa analize je količinski seznam vseh emisij, ki predstavljajo obremenjevanje okolja ter količino porabljene energije in surovin. Podatke lahko zaradi lažjega pregleda razvrstimo na posamezne faze življenjskega vpliva, in to glede na medij (voda, zrak, tla), glede na posamezen vpliv ali kombinacijo le-teh, skladno s sprejetimi omejitvami. (Matelič, 2006.)

### **2.4.3 Ovrednotenje vplivov**

Fazo vrednotenja vplivov življenjskega cikla produkta (Life Cycle Impact Assessment, LCIA) so razvili zaradi lažjega vrednotenja vplivov na ljudi, naravo ter na izrabo neobnovljivih virov. Čeprav se lahko veliko razbere že na podlagi inventarja življenjskega cikla, nam faza vrednotenja vplivov ponuja veliko podrobnejšo osnovo za odgovor na vprašanje, kateri produkt ima večji vpliv na okolje.

V ta namen je bila razvita metoda »Ecopoint«. Metoda je bila namensko razvita za švicarsko vlado kot orodje za tehtanje inventarnih tabel, dobljenih z LCA-metodo, Eco-indicator 99, ki predstavlja dopolnitev metode Eco – indicator 95. Ecopoint metoda temelji na seštevanju okoljskih (eko)-indikatorskih točk za določene snovi in procese. ([www.pre.nl](http://www.pre.nl), 4.11.2006.)

### 2.4.3.1 Opis metodologije Eco-indicator 99

Metoda Eco-indicator 99 ima tri različna področja oz. sfere znanstvenega znanja in mišljenja. To so:

- tehnosfera
- ekosfera
- vrednostna sfera

V tehnosferi naredimo zasnovno življenjskega cikla proizvoda skozi vse njegove faze. Potrebno je izdelati diagram poteka in rezultate, ki smo jih dobili iz raziskav, podati v inventarnih tabelah. Rezultati v inventarnih tabelah morajo vsebovati opis emisij in količinske vrednosti.

V ekosferi določimo vpliv, ki ga povzroči proizvod na okolje. Tako na primer določimo, ali gre za segrevanje ozračja, zakisanje zemljine, toksičnost zemljine ali za kaj drugega. Modeliranje v ekosferi uporabljamo za povezavo med inventarnimi tabelami in tremi škodnimi kategorijami ali končnimi točkami.

V vrednostni sferi določamo resnost škode. Modeliranje v vrednostni sferi se uporablja za tehtanje med tremi končnimi točkami in enim indikatorjem ter za modeliranje izbir v ekosferi.

Prvi dve sferi se dotikata tehničnih in naravoslovnih znanosti, tretja pa temelji na družboslovnih vedah. Čeprav se sfere med seboj deloma povezujejo, imajo popolnoma različne lastnosti. V tehnosferi lahko procese ovrednotimo relativno točno, odstopanja so zanesljiva, da se jih dokazati in tudi izmeriti. V ekosferi se pojavijo odstopanja, ta lahko zmanjšajo tudi več odstotkov. Do tega pa pride zaradi netočnih modelov, ki so precej nerealni. Rezultat, ki nam ga poda vrednostna sfera, ni edini, saj obstaja več možnih teorij in različnih mnenj o pomembnosti posameznih kategorij. (Lipušček-Oblak, 2006.)

#### 2.4.3.1.1 Izbor in definicija kategorij

V metodi Eco-indicator 99 so definirane tri škodne kategorije. Oblikujejo se glede na kategorijo, ki jo prizadenemo. Standard ISO 14042 opisuje te škodne kategorije, kot končne točke:



- škoda na človeškem zdravju
- škoda, povzročena ekosistemu
- škoda na naravnih, neobnovljivih virih

### **Človekovo zdravje**

V tem škodnem primeru gre za idejo, da bi morala vsa človeška bitja v sedanosti in prihodnosti biti neobremenjena z okoljsko prenosljivimi boleznimi, okvarami ali prezgodnjo smrtjo. Svetovna zdravstvena organizacija (WHO, World Health Organization) definira zdravje kot dinamično ravnovesje telesnih, duševnih in socialnih prvin v človekovem okolju. V nadaljevanju pravi, da okoljsko zdravje ljudi vključuje tako direkten patokemični učinek kemikalij, sevanja in nekaterih bioloških agensov, kot tudi učinek na zdravje in dobro počutje fizikalnih, psiholoških, socialnih in estetskih okolij. (Urh, 2002.)

Zaradi obsežnosti zbiranja podatkov metoda Eco-indikator 99 zajema le nekatere od teh pogledov:

- Upošteva le antropogene emisije v ozračje, vodo in zemljo, izključuje pa nezdrave pogoje na delovnem mestu, na domovih, prometne nesreče, pitje alkohola in kajenje.
- Ne ukvarja se z zdravstvenimi problemi zaradi naravnih nesreč, podnebja in mikroorganizmov.
- Ne zajema ekonomskih problemov.
- Upošteva vse ostale poglede dobrega počutja, razen odsotnosti bolezni.

Vse te omejitve v metodi zahtevajo, da se obravnava kategorija človekovega zdravja veliko bolj natančno, kot pa jo definira WHO. Človekovo zdravje pomeni, da ne podležemo prezgodnji smrti, bolezni ali drugim vplivom, ki jih povzročajo onesnaževanja industrijskih ali kmetijskih procesov v ozračje, vodo ali zemljo. Škodni model je razvit za dihalni in karcinogeni učinek, učinek klimatskih sprememb, tanjšanje ozonske plasti in ionizirajoče sevanje.

### **Kakovost ekosistema**

Ta škodni model temelji na , da naj rastlinstvo in živalstvo ne bi trpela zaradi motečih sprememb v njihovih populacijah in geografskih porazdelitvah. Pri modelu kakovosti ekosistema poznamo dva različna pristopa, s katerima lahko vzpostavimo povezavo med inventarnimi tabelami in potencialno škodo:

1. Strupene emisije ter emisije, ki spreminjajo kislost in prehranjevalne navade gredo skozi sledeče tri postopke:
  - analiza usode (fate analysis) povezuje emisije s koncentracijo
  - analiza učinka povezuje koncentracijo s toksičnim stresom, povečano hranljivostjo in kislostjo
  - analiza škode povezuje te učinke s povečano možnostjo izginotja rastlin
2. Uporaba ozemlja in transformacija ozemlja je modelirana na osnovi empiričnih podatkov o kakovosti ekosistema, kot funkcija tipa uporabe zemljišča in velikosti zemljišča.

### **Naravni neobnovljivi viri**

Ta škodni model temeljijo, da bi morali biti vsi neobnovljivi naravni viri, ki so bistveni za človeške skupnosti, dostopni tudi bodočim generacijam.

Škodna kategorija *naravni neobnovljivi viri* je nova v metodi Eco-indicator 99. V zvezi s tem ni nekega mednarodno sprejetega standarda, s katerim bi izrazili škodo na naravnih neobnovljivih virih, kot je bilo to mogoče pri škodnih kategorijah človekovega zdravja in kvalitete ekosistema. Pri modelu naravnih neobnovljivih virov sta uporabljena dva podkoraka, da lahko vzpostavimo povezavo med inventarnimi tabelami in potencialno škodo:

- analiza virov
- analiza škode

#### **2.4.3.1.2 Klasifikacija**

Klasifikacija določa, v katero vplivno kategorijo bo posamezen dejavnik v LCA uvrščen. Posamezni dejavnik lahko prispeva svoj delež le keni vplivni kategoriji. Kot primer, prispevek dejavnika v zrak emitiranega CO<sub>2</sub>,-ja dodeli v kategorijo segrevanja ozračja. Obstajajo tudi taki dejavniki, ki prispevajo svoj delež dvema ali celo trema kategorijama.

V primeru, ko so učinki med seboj odvisni, je potrebno njihov delež razdeliti med posamezne vplivne kategorije. Tak primer je SO<sub>2</sub>, ki se lahko nahaja na prizemni višini ali se giblje v atmosferi. SO<sub>2</sub> vpliva na človekovo zdravje in na kakovost ekosistema (zakisovanje). Njegov vpliv se tako razdeli polovično na obe kategoriji.

Drugi primer se pojavi, ko je učinek nekega produkta medsebojno odvisen. Takrat je potrebno vpliv razdeliti na vse kategorije. Dušikov dioksid istočasno vpliva na človekovo zdravje in kakovost ekosistema (zakisovanje). V tem primeru obema kategorijama dodelimo 100-odstotni delež.

#### **2.4.3.1.3 Karakterizacija**

Karakterizacija je pomembna zato, da lahko posamezne vplive seštejemo in dobimo skupno vrednost. To nam omogoča primerjanje vplivov različnih emisij na nastanek tople grede.

Kazalnike vplivov določamo z enačbo:

$$(\text{vrednosti iz inventarja}) \times (\text{karakterizacijski faktor}) = (\text{kazalnik vplivov})$$

Tako lahko na primer vse toplogredne pline izrazimo z ekvivalentno vrednostjo ogljikovega dioksida, dobljene vrednosti pa nato seštejemo in dobimo ekvivalentno skupno vrednost toplogrednih plinov.

V preglednici 2.1 je predstavljen potek karakterizacije. Količine posameznih emisij smo pomnožili z karakterizacijskimi faktorji in sešteli celoten vpliv na posamezni kazalnik. V preglednici so prikazane količine posameznih plinov, ki vplivajo na nastanek tople grede. Omenjeni plini nastajajo pri proizvodnem procesu papirnatih vrečk.

Preglednica 2.1: Podatki o kazalnikih vplivov ([www.pre.nl](http://www.pre.nl), 6.11.06.)

		<i>Karakterizacijski faktor</i>			
<i>Emisije</i>	<i>Količina (kg)</i>	<i>Vpliv tople grede</i>	<i>Manjšanje ozonske luknje</i>	<i>Vpliv toksičnosti na človeka</i>	<i>Zakisanje</i>
CO <sub>2</sub>	1.792	x 1	-	-	-
CO	0.000670	-	-	x 0.012	-
NO <sub>x</sub>	0.001091	-	-	x 0.78	x 0.7
SO <sub>2</sub>	0.000987	-	-	x 1.2	x 1
<b>Učinek oz. Rezultat:</b>		1.792	0	0.00204	0.0017

Vrednosti faktorjev so določene v bazah podatkov, vendar pa o vseh strokovnjaki še niso dosegli soglasja.

### 2.4.3.2 Ocenitev škode

Izračun končnih rezultatov vseh treh škodnih kategorij vključuje okoljsko modeliranje. V nekaterih primerih ti rezultati zagotovijo zadostne informacije, tako da nadaljnji koraki niso potrebni. Do takšnih situacij pride v primerih, ko so vsi škodni rezultati produkta A višji kot pri produktu B ali pa ko je naša študija imela za cilj analizo le ene škodne kategorije.

Po standardu ISO 14042 je potrebno izvesti tudi postopek normalizacije in tehtanja kot osnovni element optimizacije. Poleg normalizacije in tehtanja je potrebno tudi razvrščanje škodnih kategorij. Škodne kategorije razvrstimo po vrstnem redu, pri čemer upoštevamo padajočo pomembnost. Pred korakom tehtanja je potreben postopek normalizacije. V koraku normalizacije so rezultati škodnih izračunov razdeljeni glede na izhodiščne vrednosti. Rezultat tega koraka je sklop faktorjev, ki ima enake dimenzije ali le-teh nima in kaže relativni delež izračunanih škod glede na izhodiščne vrednosti.

#### 2.4.3.2.1 Normalizacija

Pri normalizaciji določimo relativni prispevek izračunane škode k celotni škodi, ki je bila povzročena v izhodiščnem sistemu. Namen normalizacije je lahko različen. Za metodo Eco-indicator 99 je zagotovo najbolj pomemben proces razvrščanja v skupine in tehtanje. Izhodiščni sistemi so lahko izbrani na različne načine. Ponavadi je izhodiščni sistem vsota vseh emisij ali porab virov v celem svetu ali v nekem predelu sveta v določenem času.

Izračun normalizacijskih vrednosti je sestavljen iz dveh korakov:

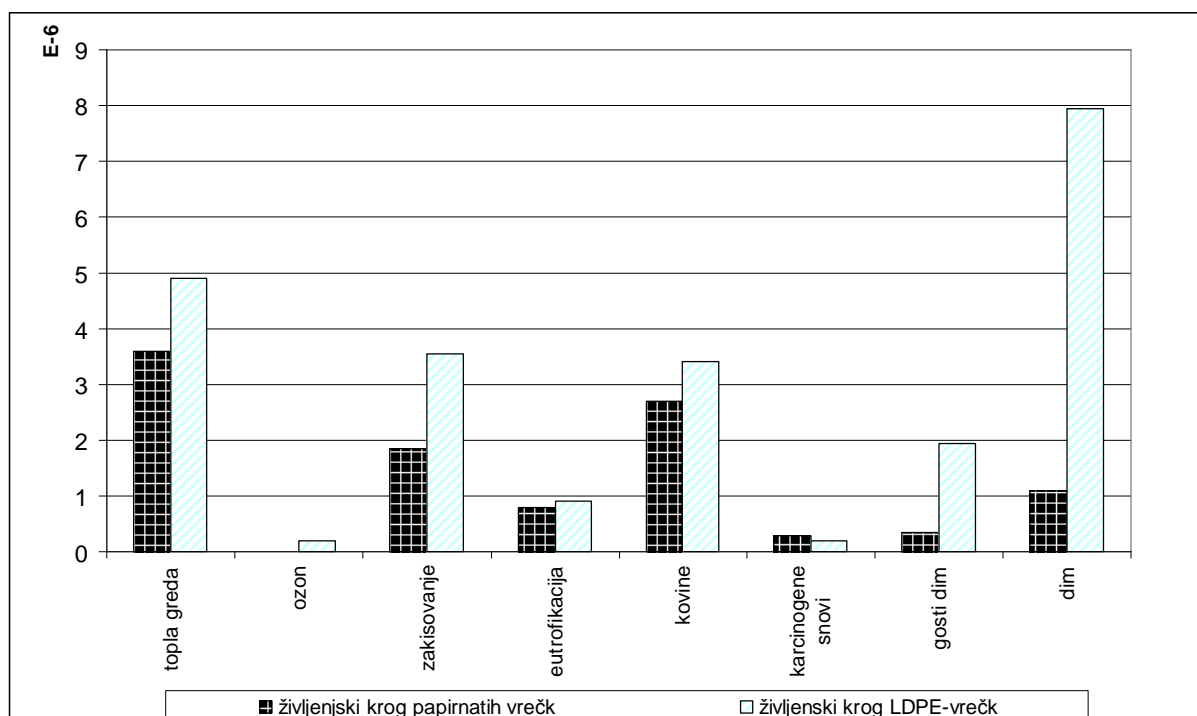
- Določiti moramo celotno emisijo in celotno porabo virov v izhodiščnem sistemu v izhodiščnem časovnem obdobju (običajno v 1 letu), izračunati je potrebno škodne kategorije in škodne rezultate z uporabo razvrščanja.
- Določiti moramo uporabo faktorjev škode.

Faktor škode, lahko dobimo iz naslednjih primerov:

- celotna količina emisij za neko območje
- koeficient dveh alternativ
- najvišja vrednost med vsemi opcijami

Poudariti je potrebno, da se normalizirane vrednosti primerja le znotraj kategorij vpliva. Tako se na primer ne more primerjati vpliv toksičnosti z učinkom tople grede, saj sta njuna faktorja karakterizacije dobljena na osnovi različnih znanstvenih metod.

Na sliki 2.3 je prikazan graf normiranih vrednosti, ki nastanejo pri izdelavi papirnatih vrečk in plastičnih LDPE (*low density polyethylene*) vrečk. Iz slike se da lepo razbrati velikost posameznih vplivov in primerjati posamezne vplive, ki jih imajo papirnate ali pa LDPE-vrečke.



Slika 2. 3: Prikaz normiranih vrednosti v primeru papirnatih in LDPE-vrečk (www. pre.nl, 6.11.06.)

Pri tem gre omeniti, da se pri sami študiji nismo osredotočili na samo uporabo enih ali drugih vrečk, kar pomeni, da smo predpostavili, da le enkrat uporabimo posamezno papirno in LDPE vrečko.

#### 2.4.3.2.2 Tehtanje

Je normativni korak, kjer normaliziranim rezultatom določimo utežne faktorje oz. ponderje. Utežni faktorji bi morali predstavljati pogled skupnosti oziroma skupine strokovnjakov. Ker je metoda Eco-indicator 99 namenjena za uporabo v Evropi, bi morali torej njeni utežni faktorji čim bolj ustrezati pogledom Evropske unije. Edinstvena lastnost te metodologije je, da vsebuje le tri utežne faktorje. V drugih LCA-metodologijah je bilo potrebno razviti uteži za deset ali več škodnih kategorij. Ob tako velikem številu kategorij je tehtanje zelo zahtevno in naporno za tiste, ki morajo podati njegove rezultate, saj morajo imeti veliko znanja o sami metodi.

Še ena jasna prednost metode Eco-indicator 99 je ta, da lahko za tehtanje uporabljamo trikotnike, vendar pa je ta koncept nemogoče uporabljati v primeru, ko imamo več kot tri škodne kategorije. Nadaljnja prednost metode Eco-indicator 99 je dodeljevanje uteži škodnim kategorijam namesto vplivnim kategorijam, saj so škodne kategorije veliko lažje razumljive. Če hočemo dodeliti neko utež učinku tople grede ali učinku zakisovanja, moramo imeti veliko znanja o ozadju teh zadev, mehanizmih in učinkih, o sami verjetnosti, da se ti učinki pojavijo, ter tudi o načinih, kako ti učinki povzročajo škodo. V primeru metode Eco-indicator 99 pa se strokovnjak lahko osredotoči na vprašanje resnosti škode.

#### **2.4.4 Interpretacija rezultatov**

Kot zadnja faza v metodi analize življenjskega cikla proizvoda nastopa interpretacija življenjskega cikla obravnavanega proizvoda. To je sistematično določen način za poročanje rezultatov dobljenih z LCI in LCIA.

Cilja, ki ju definira standard SIST ISO 14041:1998, sta naslednja:

- Analiza rezultatov, predstavitev sklepanj, razlaga omejitev in nudenje priporočil, ki smo jih dobili na podlagi prejšnjih stopenj, ter jasna interpretacija.
- Nudenje razumljive, celovite in dosledne predstavitve rezultatov LCA-študije z upoštevanjem zastavljenega cilja in obsega študije. (ISO 1998b)

Sama interpretacija rezultatov je tako povezana s prvim korakom LCA-metode. Pri določitvi ciljev in obsega študije smo se že odločili, komu so namenjeni rezultati ter kako natančni in obsežni so. Tako je potrebno v primeru javne raziskave rezultate predstaviti dosti bolj natančno, kot če gre zgolj za interno presojo. Pri interpretaciji rezultatov je pomembno, da navedemo poleg rezultatov tudi vse predpostavke in odločitve na osnovi inženirske in lastne presoje, ki smo jih med potekom LCA-metode sprejeli in zabeležili.

Navodila glede poročanja in interpretacije rezultatov LCA-metode podaja standard ISO 14043:2000. V standardu so opisane tri pomembni elementi, ki jih moramo pri interpretaciji rezultatov upoštevati.

#### **2.4.4.1 Identifikacija pomembnih podatkov**

Popolnost in natančnost študije nam določajo tako imenovane pomembne vsebine. To so informacije iz prvih treh faz analize življenjskega cikla proizvoda, ki so najbolj vplivale na potek LCI in LCIA. Da lahko ugotovimo, ali je dobljeni rezultat uresničil namen študije, je potrebno za vsako fazo pregledati cilj posamezne faze, osnovne predpostavke, ponderiranje vplivov itd.

Določanje pomembnih vsebin je v nekaterih primerih zapleteno opravilo, zato so za določanje teh vsebin uporabljene naslednje metode:

##### *Analiza prispevanja*

Pri tej metodi je pomembno, da prispevke posameznih faz primerjamo s končnim rezultatom.

##### *Analiza dominantnosti*

Za določanje pomembnih elementov prispevanja uporabljamo statistična orodja, kot so kvalitativno in kvantitativno rangiranje.

##### *Ocenjevanje anomalij*

V primeru nenavadnih in presentljivih odstopanj je potrebno natančno preučiti, zakaj je do tega prišlo.

#### **2.4.4.2 Ocena popolnosti, natančnosti in skladnosti podatkov**

To so tri kontrole, ki jih je potrebno izvesti pred poročanjem rezultatov:



### *Kontrola natančnosti*

Ta ugotavlja, ali so rezultati sorazmerni z rezultati, ki smo si jih zastavili na začetku. Omenjeno kontrolo je potrebno izvesti tudi na ravni razvojnih stopenj v LCI in LCIA, ne samo pri končnih rezultatih. Za doseg te ciljev so na voljo naslednje vrste analize:

- Analiza pomembnosti nam identificira podatke, ki so pomembnejši za doseg rezultatov.
- Analiza negotovosti opiše negotovost LCIA-podatkov pri določanju pomena kazalnikov vplivov.
- Analiza natančnosti meri spreminjanje obsega študije.

### *Kontrola skladnosti*

S kontrolo skladnosti se preverja, ali so podatki, predpostavke in metode skladne z zastavljenim ciljem.

Preglednica 2.2: Primer kontrolne liste in potencialnih neskladnosti (Environmental Protection Agency, 10.11.06.)

KATEGORIJA	PRIMER NEDOSLEDNOSTI
Vir podatkov	Prva alternativa se sklicuje na literaturo, druga alternativa pa na merjene podatke.
Natančnost podatkov	Za prvo alternativo smo uporabili izčrpen diagram toka za razvoj LCI, medtem ko je bila za drugo alternativo na voljo omejena količina podatkov.
Starost podatkov	Prva alternativa upravlja podatke na podlagi 20-letne študije, medtem ko druga alternativa uporablja podatke preteklega leta.
Časovna predstava	Podatki za prvo alternativo opisujejo nedavno razvito tehnologijo. Druga alternativa pa opisuje kombinacijo novejših in starejših ugotovitev.
Geografsko področje	Podatki za prvo alternativo so rezultat evropskih standardov, medtem ko gre pri drugi alternativni za podatke iz ZDA.
Sistemske omejitve, modeli in predpostavke	Prva alternativa uporablja model za opazovanje segrevanja ozračja za obdobje 500 let, druga alternativa pa upošteva meritve zadnjih 100 let.

### *Kontrola popolnosti*

Ta kontrola zagotavlja, da so vsi potrebni podatki za interpretacijo na razpolago in da so popolni. Pri tem igra pomembno vlogo kontrolni seznam, v katerega podatke razvrstimo glede na fazo življenjskega cikla, različne procesne enote ali tip obravnavanih podatkov.

S tem kontrolnim seznamom potrjujemo, da so dobljeni rezultati popolni ter v skladu s ciljem in namenom LCA-metode.

### **2.4.4.3 Sprejemanje sklepov in priporočil**

Končno dejanje analize življenjskega cikla je poročanje rezultatov in rešitev, katerih naj bi se v prihodnje držali. Zelo pomembno je, da smo objektivni. V primeru, ko se pojavi sum, da nekateri podatki niso točni ali popolni, je potrebno o tem poročati. Prav tako je potrebno poročati o vseh poenostavitvah, ki smo jih med analizo uporabili. Lahko se zgodi, da nismo dobili natančnega odgovora o tem, kateri izdelek je okolju bolj prijazen, vendar tudi v tem primeru trud ni bil zamanj. Ti podatki so še vedno koristni in jih lahko uporabimo za boljše razumevanje določenih vplivov.

### **2.4.5 Poročanje o rezultatih**

ISO 14043 standard podaja natančne zahteve, kako naj poročilo zgloda in kaj mora vsebovati, da bomo na jasn in urejen način predstavili rezultate, podatke, metode, omejitve in predpostavke.

Elemente, ki naj jih vsebuje poročilo, so:

Splošni podatki:

- ime in naslov strokovnjaka, ki je metodo opravljajal
- datum poročila
- informacije o prejemniku

1. definicija cilja in obsega študije
3. analiza inventarja življenjskega cikla
4. ocenjevanje vplivov življenjskega cikla
5. interpretacija življenjskega cikla:

- rezultati
- predpostavke in omejitve
- ocenjevanje kakovosti podatkov

Natančna revizija:

- ime in zaposlitev rezidentov
- poročilo revizije
- odzivi na priporočila

## **2.5 Funkcionalna enota**

Namen funkcionalne enote je določiti funkcijo izdelka oziroma procesa, saj je primerjava izdelkov osnovana glede na enako funkcijo in enako funkcionalno enoto. Za želeno natančnost študije in uporabnost rezultatov je potrebna skrbno izbrana funkcionalna enota za primerjavo in prikaz rezultatov.

Za boljšo predstavo si pogledajmo ilustrativni primer dveh različnih toplotno izolativnih materialov. Plasti primerjamo glede na enako funkcijo, ki je v tem primeru sposobnost zmanjšanja prehoda toplotnega toka skozi določeno plast materiala. Funkcionalna enota je torej površinska enota izolativnega materiala z vnaprej določenim toplotnim uporom. Na tej funkcionalni enoti nato primerjamo dva izdelka (dve vrsti

---

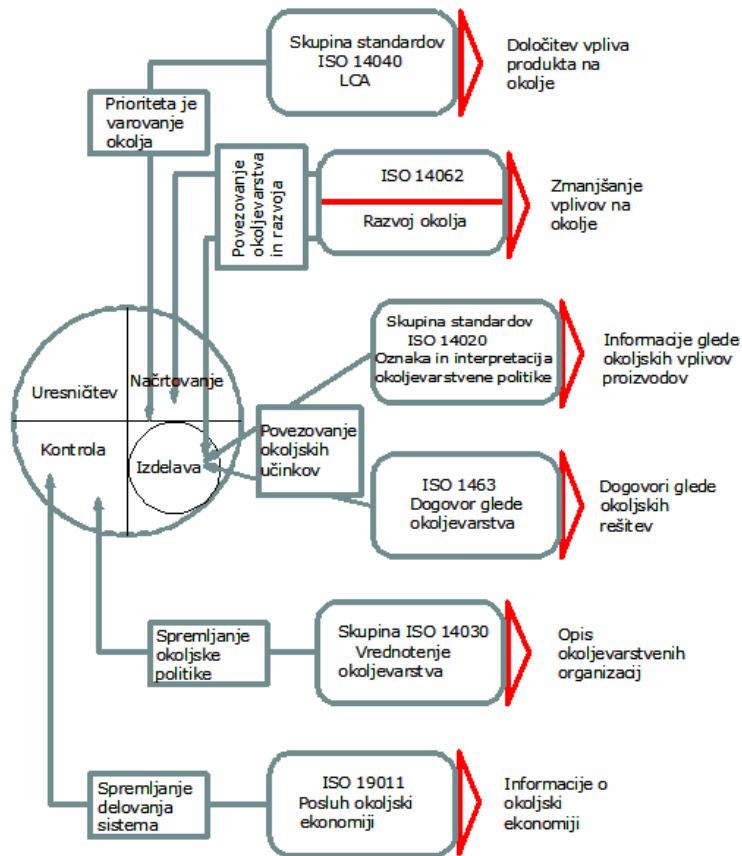
izolativnega materiala), ki nimata enakih termofizikalnih lastnosti. V primeru, da »izdelek 1« zmanjša prehod toplote za 80 odstotkov, moramo poiskati tako debelino izdelka 2, da bo ta prav tako za 80 odstotkov zmanjšal prehod toplotnega toka. (Matelič, 2006.)

### **3 OPIS STANDARDOV, KI OBLIKUJEJO LCA-METODO**

Naraščajoča skrb za varovanje okolja in človekovega zdravja nas spodbuja, da namenimo več pozornosti vplivom svojih dejavnosti, proizvodov ali storitev na okolje. Dobro gospodarjenje vključuje okoljske prednosti in omejitve. Mednarodni standardi za ravnanje z okoljem omogočajo učinkovito vključevanje okolja v delovanje organizacije. Standardi sami po sebi ne postavljajo meril za način ravnanja z okoljem. So le orodje, pomoč za dober pregled nad uresničevanjem postavljenih ciljev. Na področju varovanja okolja imamo na voljo skupino mednarodno uveljavljenih standardov ISO 14000, ki so sestavljeni iz večjih različnih standardov: ISO 14040:1997, ISO 14041:1998, ISO 14042:2000 in standard ISO 14043:2000.

#### **3.1 Zgradba sistema**

Družina standardov ISO 14000, ki se ukvarja z okoljsko politiko, je sestavljena iz petih pomembnejših skupin. Z uporabo standardiziranih metod vseh petih skupin dosežemo, da so obravnavani izdelki in procesi nadzorovani, njihov vpliv na okolje pa kvantificiran. Te skupine so: ISO 14040, ISO 14062, ISO 14020, ISO 14063, ISO 14030 IN ISO 19011. Na sliki 3.1 so shematsko prikazane vse skupine, razen skupine standardov za vodenje sistemov za ravnanje z okoljem.



Slika 3.1: Zgradba sistema skupine ISO 14000 standardov (<http://www.iso.org>, 12.12.2006.)

Standard ISO 14001 podaja zahteve za sistem za ravnanje z okoljem v organizaciji. Koristi, ki izhajajo iz pridobitve certifikata ISO 14001, so:

- večje zaupanje kupcev, investitorjev, javnosti in lokalne skupnosti
- izboljšanje nadzora stroškov s pomočjo ohranjanja vloženi materialov in energije
- zmanjšanje tveganja za odškodninsko odgovornost in posledično pocenitev zavarovalnih premij
- lažja pridobitev dovoljenj za obratovanje ([www.slq.si](http://www.slq.si), 11.11.2006.)

V nadaljevanju bomo predstavili vsebino standardov ISO 14040:1997, ISO 14041:2000 in ISO 14042:2001, ki opisujejo princip in obliko poteka metode ter način poročanja rezultatov LCA-metode.

### **3.2 Standard ISO 14040:1997, Ravnanje z okoljem – Ocenjevanje življenjskega cikla, Načela in okviri.**

Standard je sestavljen iz sedmih poglavij, v naslednjem vrstnem redu:

1. Obseg, ki ga standard pokriva
2. Napotki glede uporabe standarda
3. Definicije ključnih besed
4. Opis LCA-metode
5. Metodologija
6. Poročanje
7. Kritična presoja

#### **3.2.1 Obseg standarda**

Omenjeni standard določa splošni okvir, načela in zahteve, ki jih pri izvajanju in poročanju rezultatov študije potrebujemo. V standardu pa ni opisano, kako natančno je potrebno ocenjujevati življenjski cikel proizvoda.

#### **3.2.2 Napotki glede uporabe standarda**

Natančen opis poteka LCA-metode je opisan v standardu ISO 14041:1997 (Life cycle assessment – Goal and scope definition and inventory analysis).

### **3.2.3 Definicija ključnih besed**

Da lahko z LCA-metodo dosežemo cilj, nam standard definira točke, ki jih moramo med definicijo obsega študije upoštevati.

### **3.2.4 Splošni opis LCA-metode**

#### **3.2.4.1 Ključne značilnosti LCA-metode**

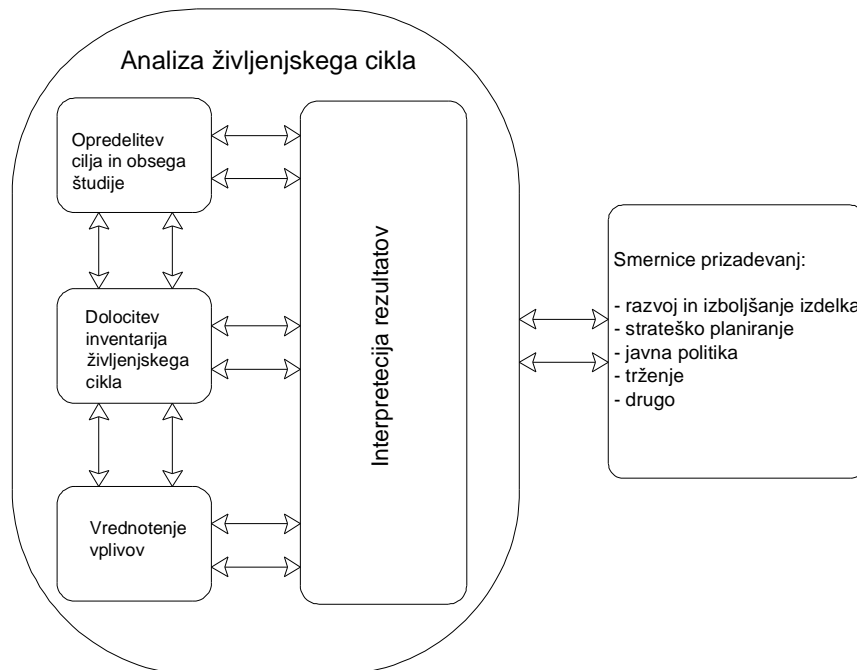
Ključni pojmi v metodologiji analize življenjskega cikla so naslednji:

- V življenjskem ciklu LCA sistematično vrednotimo vpliv izdelkov na okolje.
- Željena natančnost in čas za izvedbo študije sta odvisna od cilja, ki ga želimo doseči.
- Natančno je potrebno določiti obseg študije, predpostavke, opis podatkov, metodologijo, ki smo jo v študiji uporabili, ter dobljene rezultate. Za vire pa velja, da morajo biti tehtno izbrani, dokumentirani in objektivni.
- Metodologija mora omogočiti vključitev morebitnih novih znanstvenih ugotovitev.
- LCA-metoda ni univerzalna metoda, zato jo je potrebno oblikovati glede na željo in zahteve naloge.

#### **3.2.4.2 Faze, ki sestavljajo LCA-metodo**

Za pravilen potek analize življenjskega cikla produkta je potrebno zajeti vse faze. Povezanost posameznih faz je prikazana na sliki 3.2, kjer predstavljajo rezultati LCA-študije pomembno informacijo pri sprejemanju odločitev.





Slika 3.2: Faze analize življenjskega cikla (ISO 14040, 1997)

### 3.2.5 Metodologija

Cilj LCA-analize je, da rezultate predstavi nedvoumno in natančno pojasni, komu so rezultati namenjeni. Poleg tega so v poglavju o metodologiji naštet področja, ki morajo biti v študiji natančno definirana.

#### Funkcija in funkcionalna enota

Glavni namen funkcionalne enote je določiti izhodišče vhodnim in izhodnim podatkom, ki jih potrebujemo, da lahko med seboj primerjamo rezultate LCA-analize. Funkcionalno enoto je potrebno nujno določiti.

## **Omejitve**

Določajo, katere procesne enote bodo v LCA-analizo vključene. Omejitve so odvisne od tega, komu je raziskava namenjena, katere predpostavke so med študijo uvedene in kolikšen je obseg študije.

## **Kakovost podatkov**

Rezultati oziroma namen naloge je odvisen od podatkov, ki smo jih pri študiji uporabili. Pravilno izbrani podatki morajo ustrezati naslednjim zahtevam:

- časovna omejitev podatkov
- geografski obseg
- tehnološko področje
- natančnost, popolnost in doslednost podatkov
- morebitna nadaljnja uporaba podatkov
- viri podatkov
- gotovost podatkov

## **Primerjave med sistemi**

Sisteme lahko primerjamo le v primeru, ko imamo enako funkcionalno enoto. Za same vhodne podatke pa je potrebno uporabiti enake metodološke lastnosti, te pa so omejitve sistema, učinek podatkov ter sprejeta pravila o vrednotenju vhodnih in izhodnih podatkov. Če pride do neenakosti, je to potrebno zabeležiti in upoštevati.

## **Kritična presoja**

Kritična presoja se nanaša na to, ali študija izpolnjuje navodila tega standarda.

### **3.2.6 Analiza inventarja življenjskega cikla**

#### **Osnovni opis inventarja življenjskega cikla**

Analiza življenjskega cikla obsega zbiranje in vrednotenje podatkov, ki vplivajo na rezultate življenjskega cikla. Inventar je lahko uporaben še za naslednje študije, mogoče ga je potrebno le dopolniti oziroma popraviti.

#### **Zbiranje in vrednotenje rezultatov**

Vsaki procesni enoti je potrebno določiti kvalitativne in kvantitativne podatke. Proces zbiranja podatkov je odvisen od področja, ki ga v študiji obravnavamo.

### **3.2.7 Vrednotenje vplivov življenjskega cikla**

Namen te faze je ovrednotiti potencialni vpliv na okolje, ki ga dobimo iz rezultatov analize življenjskega cikla. V splošnem pa je to proces, ki povezuje podatke iz inventarja z vplivi na okolje. Uporabimo lahko tudi interaktivne metode, s katerimi si pomagamo doseči zastavljeni cilj. Vrednotenje vplivov obsega naslednje faze:

- klasifikacijo – dodeljevanje vrednosti iz inventarja kategorijam vplivov na okolje
- karakterizacijo – urejanje podatkov inventarja znotraj kategorij vplivov
- tehtanje – izbiranje določenih podatkov

### **3.2.8 Interpretacija življenjskega cikla proizvoda**

Interpretacija življenjskega cikla je faza, pri kateri interpretiramo ugotovitve, dobljene z analizo inventarja življenjskega cikla in analizo vplivov na okolje. Rezultate moramo interpretirati tako, da se lahko naročnik študije na podlagi teh rezultatov odloči in mu hkrati predstavljajo trden dokaz. Zavedati pa se moramo, da se investitor ne more in ne sme odločati samo na podlagi rezultatov, dobljenih z LCA-metodo, temveč mora upoštevati še tehnične, ekonomske in socialne omejitve.

### 3.2.9 Poročanje

Rezultati LCA-analize morajo biti jasno, natančno in v celoti predstavljeni posameznikom, ki jih ti rezultati zanimajo. Tip in obliko poročila je potrebno definirati že pri obsegu in cilju študije. Rezultati, podatki in metode morajo biti dovolj natančno predstavljeni, da s tem ni ogroženo razumevanje LCA-analize. V primeru, da so se interpretacije rezultatov udeležile tretje osebe, je potrebno rezultate predstaviti tako natančno, da jih razumejo vsi udeleženci.

V standardu je podana oblika, kako naj poročilo zgleda:

1. Osnovni podatki:
  - naročnik, izvajalec analize življenjskega cikla
  - datum poročila
  - izjava o skladnosti poteka študije z zahtevami tega mednarodnega standarda
2. Definicija cilja in obsega
3. Analiza inventarja življenjskega cikla (zbiranje podatkov in računski postopki)
4. Vrednotenje vplivov življenjskega cikla (metodologija in rezultati vrednotenja)
5. Interpretacija življenjskega cikla
  - rezultati
  - predpostavke in omejitve, povezane z interpretacijo rezultatov
  - vrednotenje podatkov
6. Kritična presoja
  - imena revidentov
  - poročila kritične presoje
  - odgovor na priporočila

### 3.2.10 Kritična presoja

Standard predpisuje, da moramo s kritično presojo zagotoviti naslednje pogoje:

- Metode, ki jih uporabljamo v LCA-študiji, morajo biti v skladu z mednarodnim standardom ISO 14040:1997.
- Metode, morajo biti znanstveno in tehnično učinkovite.
- Podatki, ki jih uporabljamo, morajo biti primerni in skladni s ciljem študije.
- Interpretacija rezultatov mora biti odraz omejitev in cilja študije.
- Poročilo študije mora biti jasno in razumljivo.

Kritična presoja lahko poveča razumevanje in verodostojnost analize življenjskega cikla ter je nujna ob uporabi rezultatov primerjalnih analiz. V primeru, da LCA-študija vsebuje kritično presojo, je to potrebno definirati že v fazi definiranja cilja in obsega študije. Takrat definiramo, kaj kritična presoja obravnava, kdo jo izvaja in kako natančno.

Glede na namen študije se odločimo, katero kritično presojo bomo izbrali:

**Notranja kritična presoja.** Izvaja jo oseba ali osebe iz lastne skupine, ki morajo biti strokovno usposobljene za to delo. Upoštevati se morajo zahteve tega standarda. Poročilo pripravi oseba, ki izvaja analizo življenjskega cikla, in ga da v pregled osebi, ki je presojo izvajala.

**Zunanja kritična presoja.** Opravlja jo strokovnjak, ki ni sodeloval pri pripravi LCA-študije in je zato neodvisen. Za strokovnjaka mora veljati, da je za to delo usposobljen in se drži pravil tega standarda. Poročilo izdelata izvajalec LCA-študije ali pa zunanji strokovnjak. V primeru, da študijo izdelata oseba, ki pripravlja LCA-študijo, mora dati poročilo o kritični presoji v pregled neodvisnemu strokovnjaku.

### **3.3 Standard ISO 14041:1997 – Ocenjevanje življenjskega cikla – Opredelitev cilja in obsega ter analiza inventarja**

Standard se ukvarja z definicijo cilja in obsega študije ter z analizo inventarja življenjskega cikla.

Standard sestavlja osem poglavij, ki si sledijo v naslednjem vrstnem redu:

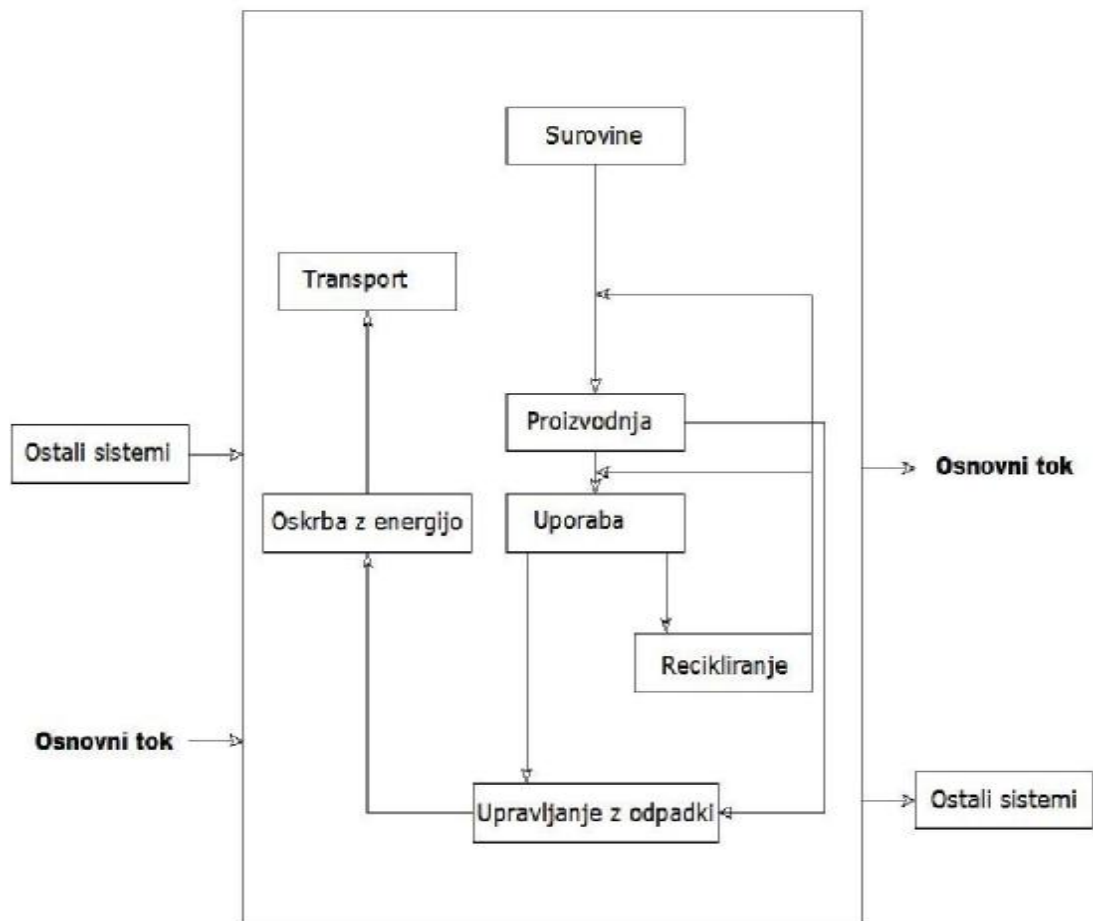
1. Obseg, ki ga standard pokriva
2. Napotki glede uporabe standarda
3. Definicija ključnih besed
4. Sestava analize inventarja življenjskega cikla
5. Definicija cilja in obsega
6. Analiza inventarja življenjskega cikla
7. Omejitve pri LCI glede interpretacije rezultatov
8. Poročilo študije.

#### **3.3.1 Obseg standarda**

Namen standarda je, da nam natančno definira cilj in obseg analize življenjskega cikla ter izvrševanje, interpretacija in poročanje o rezultatih analize inventarja življenjskega cikla.

#### **3.3.2 Sestava analize inventarja življenjskega cikla**

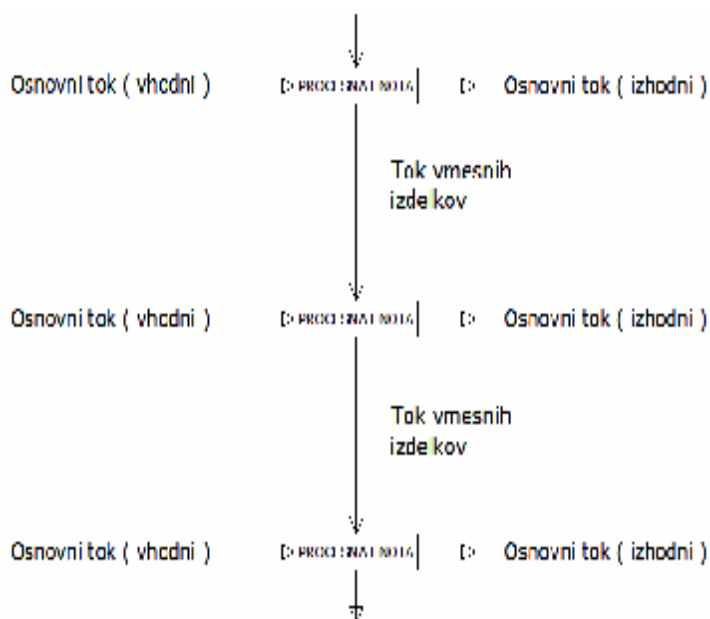
Sistem je sestavljen iz posameznih procesnih enot, osnovnega toka, materialnega toka in toka energije. To so posamezne procesne enote, med seboj povezane z vmesnimi produkti, ki imajo lahko eno ali več funkcij. Pomembno je, da dodelimo funkcije vsem proizvodom in ne le končnim. Potek izdelka skozi analizo inventarja je prikazan na sliki 3.3.



Slika 3.3: Primer analize inventarja življenjskega cikla (ISO 14041, 1998).

### 3.3.3 Procesna enota

Posamezne sisteme lahko naprej razdelimo na posamezne procese, kot prikazuje slika 3.4, ki so med seboj povezani s tokovi vmesnih izdelkov ali odpadnih snovi, nastalih v procesih.



Slika 3.4: Prikaz procesnih enot znotraj sistema izdelka (ISO 14041, 1998)

### 3.3.4 Kategorije podatkov

Standard obravnava tri glavne skupine podatkov:

- vhodne surovine
- proizvodi
- emisije v zrak, vodo in tla

Pri oblikovanju modela nam največ težav povzroča povezava med procesnimi enotami. Vendar pa prav te povezave precej prispevajo h končnim rezultatom.

### 3.3.5 Cilj in obseg študije

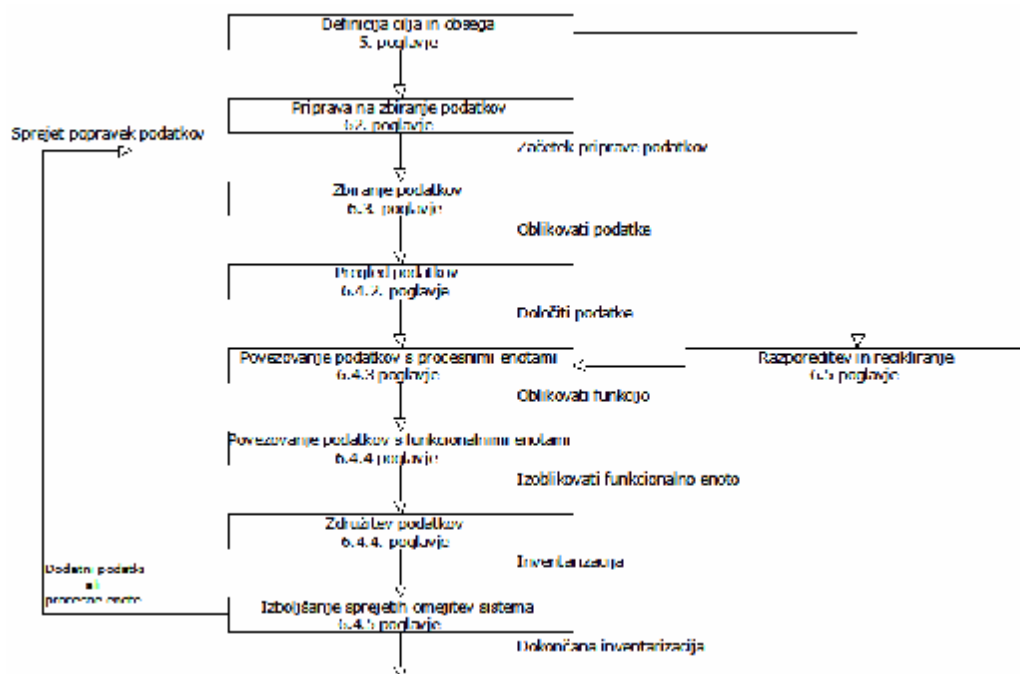
Standard predpisuje, da morata biti cilj in obseg študije skladna z zahtevami standarda ISO 14040:1997. Ta standard definira funkcionalno enoto kot funkcijo izdelka, katere glavni namen je podati izhodiščno



oz. referenčno vrednost, glede na katero se normalizirajo količine vhodnih in izhodnih podatkov. Poleg določitve funkcije izdelka se je potrebno odločiti, katere procesne enote bodo vključene v študijo, katere obremenitve okolja bodo vključene in kakšna naj bo njihova natančnost. V ta ukrep nas vodijo omejena finančna sredstva in časovna omejitev. Opis in natančnost podatkov sta potrebna za določanje rezultatov, zato je zelo pomembno, da si pridobimo podatke ustrezne kvalitete in kvantitete. Potrebno je tudi, da so podatki ažurirani in da ne uporabljamo podatkov starih raziskav.

### 3.3.6 Analiza inventarja življenjskega cikla

Analiza inventarja življenjskega cikla (LCIA) se ukvarja z zbiranjem podatkov in računskimi postopki, ki se na te podatke nanašajo. Ti postopki se v različnih primerih razlikujejo, tako da niso enotni. Odvisni so od cilja naloge, od organiziranosti strokovnjaka itd. Med zbiranjem podatkov je potrebna stalna kontrola. Morebitna odstopanja zahtevajo ponovno iskanje informacij. Po končanem zbiranju podatkov sledijo računski postopki, s katerimi informacije, ki so zbrane v inventarju življenjskega cikla, prevedemo v rezultate. Za procesne enote velja, da so med seboj povezane, saj le tako lahko pretehtamo celoten sistem.



Slika 3.4: Prikaz poteka analize inventarja življenjskega cikla (ISO 14041,1998)

### **3.4 Standard ISO 14042:2000, Ravnanje z okoljem – Ocenjevanje življenjskega cikla – Ovrednotenje vplivov na okolje (LCIA)**

Omenjeni standard opisuje in podaja smernice za vrednotenje vplivov na okolje (Life cycle impact assessment, LCIA), ki je ena izmed faz analize življenjskega cikla. Za LCIA je značilno, da z rezultati oskrbi fazo interpretacije življenjskega cikla. Standard sestavlja deset glavnih poglavij, ki si sledijo v naslednjem vrstnem redu:

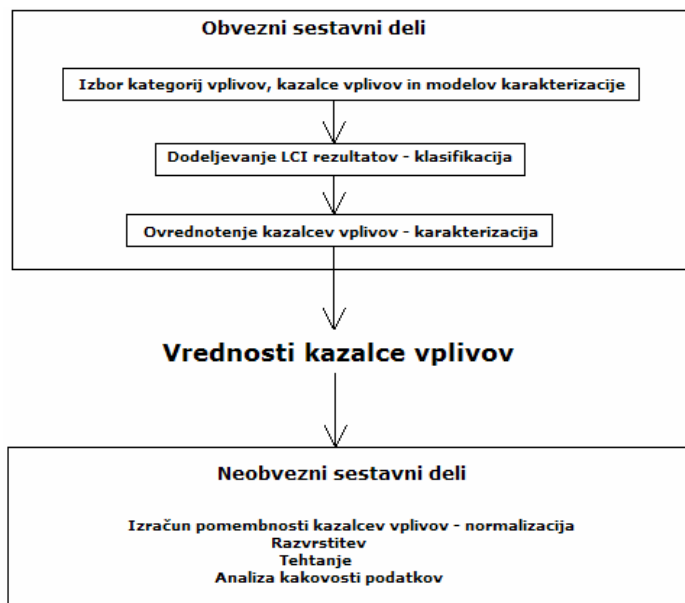
1. Obseg in področje uporabe
2. Povezava z ostalimi standardi
3. Definicije ključnih besed
4. Osnovni opis LCIA faze
5. Obvezni sestavni deli
6. Izbirni sestavni deli
7. Analiza podatkov
8. Omejitve v LCIA
9. Primerjalne trditve, ki so dostopne javnosti
10. Poročanje in kritična presoja

#### **3.4.1 Ključni pojmi pri LCIA**

- Faza LCIA nam v povezavi z ostalimi fazami analize življenjskega cikla omogoča pregled nad vplivom na okolje ter izrabo surovin.
- LCIA razdeli rezultate LCI-kategorijam. Vsaki kategoriji vpliva dodeli kazalec vpliva ter izračuna njegovo vrednost. Te vrednosti nam dajo uporabne informacije glede vhodnih in izhodnih količin.
- LCIA temelji na funkcionalni enoti, s čimer lahko zbira informacije, zbrane v predhodnih fazah analize življenjskega cikla.

### 3.4.2 Elementi analize inventarja življenjskega cikla

Namen LCIA je prevesti rezultate faze LCI na vrednosti kazalcev vplivov, nato pa z uporabo neobveznih elementov izvedemo še normalizacijo, razvrstitev, tehtanje in postopke za analizo podatkov.

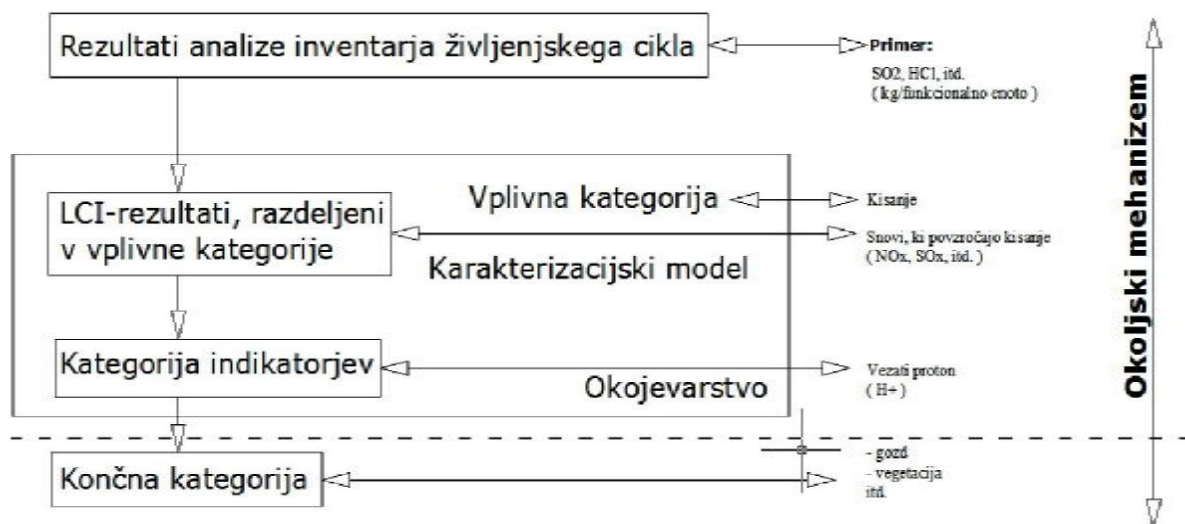


Slika 3.5: Sestavni deli LCIA (ISO 14042, 2000)

### 3.4.3 Koncept kategorij indikatorjev

Koncept kategorij indikatorjev temelji na okoljskem mehanizmu. Kot primer je na sliki 3.6. predstavljen primer kisanja. Ta model nam za izbrani primer opiše povezavo med rezultati LCI in kategorij indikatorjev. Vsaka vplivna kategorija vsebuje naslednje komponente:

- identifikacijo kategorije
- definiranje končnih kategorij
- identificiranje značilnosti LCI-rezultatov, ki so bili dodeljeni vplivnim kategorijam in jim dodelitev kategorije indikatorjev
- identifikacijo karakterizacijskih modelov in karakterizacijskih faktorjev



Slika 3.6: Primer dodeljevanja indikatorjev posameznim kategorijam (ISO 14042:2000)

### 3.4.4 Klasifikacija

Standard v tem poglavju podaja smernice za razvrščanje rezultatov v vplivne kategorije. Ti rezultati se glede na zastavljen cilj LCA-analize lahko razdelijo v točno določeno kategorijo ali pa jih razdelimo v več kategorij. Standard kot primer podaja SO<sub>2</sub>, ki lahko pripada vplivnima kategorijama »človekovo zdravje« ali »zakisanje zemljine«. Zgodi se lahko, da nimamo dovolj podatkov in zaradi tega ne moremo razvrstiti rezultatov v določeno skupino. V tem primeru se je potrebno vrniti nazaj v fazo zbiranja podatkov ali pa prilagoditi cilj študije.

### 3.4.5 Karakterizacija

Karakterizacija prevede rezultate LCI faze v posamezne vplivne kategorije s pomočjo faktorjev karakterizacije. Potem pa lahko te rezultate združimo znotraj posameznih kategorij vplivov. Način določanja in izbiri faktorjev je potrebno skrbno zabeležiti in definirati.

### 3.4.6 Normalizacija

Normalizacija nam pomaga razumeti vpliv posamezne količine, ki jo v študiji obravnavamo. Poleg kontrole o skladnosti in poročanju o pomenu rezultatov indikatorjev, pripravlja še procedure za razvrstitev, tehtanje in poročanje o rezultatih. Ključnega pomena pri normalizaciji je pretvorba rezultatov v referenčne vrednosti.

Referenčno vrednost lahko dobimo na naslednje načine:

- Lahko vzamemo celotno vrednost določenih emisij ali virov na globalni, lokalni ali nacionalni ravni.
- Lahko vzamemo povprečno vrednost vseh virov ali emisij, ki jih obravnavamo.
- V najslabšem primeru uporabimo vrednosti iz podobnih študij.

### 3.4.7 Razvrstitev

Razvrščanje standard opisuje kot proces, pri katerem kategorije vplivov razvrščamo v eno ali več skupin, ki smo jih definirali na začetku študije.

Razvrščanje poteka v dveh skupinah:

- Na osnovi lastnih vplivov posamezne vplivne skupine. Te karakteristike so na primer emisije ali viri na globalni, regionalni ali lokalni ravni.
- Rangiranje vplivnih kategorij poteka po hierarhični lestvici: močan vpliv, srednji vpliv in šibak vpliv.

### 3.4.8 Tehtanje

Tehtanje je proces, s pomočjo katerega pretvarjamo rezultate vplivov različnih vplivnih kategorij z uporabo utežnih faktorjev. Pri uporabi omenjene metode moramo biti dosledni glede na zastavljen cilj in namen študije ter transparentnost vseh korakov, ki smo jih pri tej metodi uporabili. Določitev ponderjev

---

oz. utežnih faktorjev posameznim vplivom je odvisno od mnogih dejavnikov. Njihova določitev je v rokah izdelovalca analize ali pa določevalca. Zavedati se moramo, da izbrane vrednosti utežnih faktorjev bistveno vplivajo na končni rezultat analize.

### **3.4.9 Analiza kakovosti podatkov**

To analizo uporabljamo za boljšo predstavitev rezultatov, njihovih značilnosti, dvoumnosti in občutljivosti. S pomočjo analize poskušamo razločiti ali so prikazane vse značilnosti, odstraniti nepomembne rezultate, vodenje samega interaktivnega procesa; tako s tem lažje ugotovimo, ali so prisotne razlike v rezultatih.

### **3.4.10 Omejitve pri analizi inventarja življenjskega cikla**

Analiza inventarja življenjskega cikla obravnava le tiste okoljske probleme, ki so navedeni znotraj cilja in obsega študije.

Standard poleg omenjenih poglavij obravnava še poglavja o primerljivih ugotovitvah, predstavljenih v javnosti, ter poglavje o poročanju in kritični presoji kot dodatek k zahtevam, ki so navedene v standardu ISO 14040.

## **4 PREDSTAVITEV UPORABE ANALIZE ŽIVLJENJSKEGA CIKLA V GRADBENIŠTVU**

Sodobna okoljska ekonomika povezuje tri pomembna področja. To so področja materialnega ravnovesja, razlike v ceni med družbenimi in privatnimi stroški ter okoljevarstvena osveščenost potrošnikov. Prav ta področja so postala ena najbolj perečih problemov širše javnosti. V največji meri je šlo za ravnanje s škodljivimi odpadki in nadzor nad odpadnimi snovmi. (Lipušček, 2005)

V prihodnosti je pričakovati še večjo usmerjenost podjetij h končnim potrošnikom, saj bodo njihove zahteve do podjetij v zvezi s poslovanjem postale vse večje. Podjetja bodo morala dokazati prizadevanje za izboljšanje svojega poslovanja z okoljskega in družbenega vidika.

Gradbeništvo kot specifična dejavnost ni izjema. Analizo življenjskega cikla lahko v tem primeru uporabljamo na nivoju gradbenega proizvoda in polproizvoda ali na nivoju objekta, kjer analiziramo celoten objekt oz. njegov vpliv na okolje skozi celotno življenjsko dobo objekta. Pri tem zajema življenjska doba objekta proizvodnjo materialov in izdelkov, ki jih vgrajujemo v objekt, načrtovanje, gradnjo, uporabo in vzdrževanje ter rušenje oz. razgradnjo objekta.

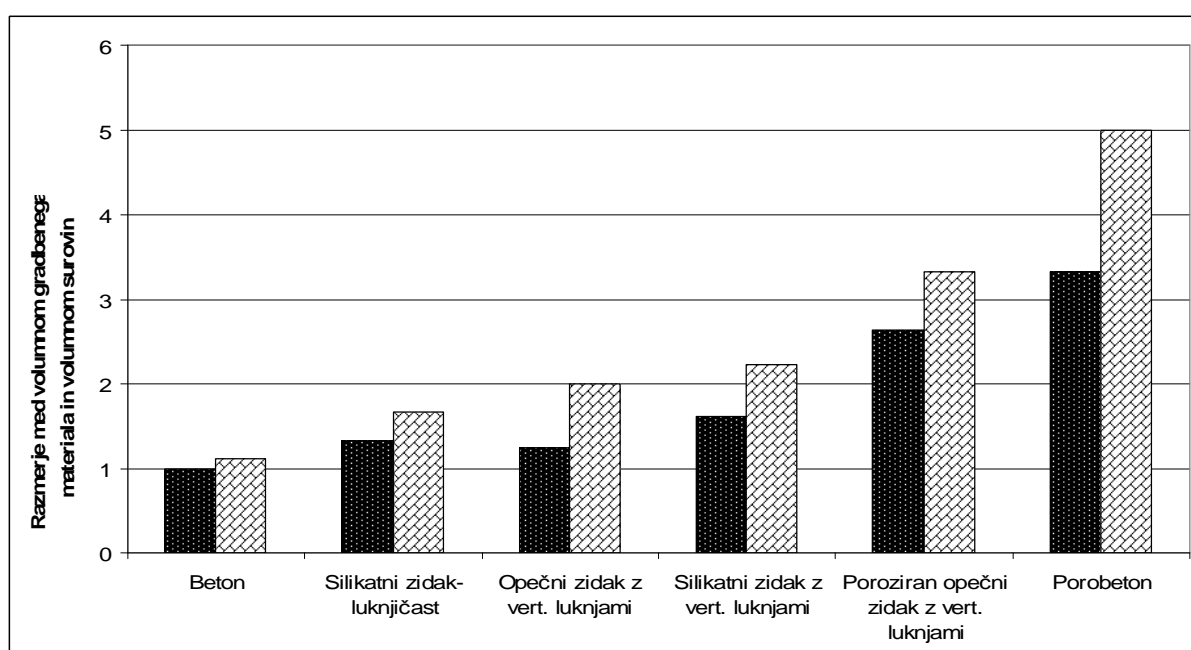
### ***4.1 Primer uporabe LCA metode pri izbiri materiala***

Za ilustracijo uporabe metode v gradbeništvu bomo prikazali preprost primer, ki temelji na opazovanju vpliva na okolje pri različnih materialih, ki jih lahko uporabimo pri izdelavi zunanjih zidov enega ali več stanovanjskih objektov.

V sredini prejšnjega stoletja so postajale potrebe po novih materialih v gradbeništvu vedno večje, kar je vzpodbudilo razvoj materialov, ki bi zadostili vedno večjim potrebam v gradbeništvu, obenem pa zmanjšali porabo materiala, zadostiti potrebi po toplotni izolaciji in s tem neposredno vplivali na onesnaževanje okolja. Pri novih materialih so iskali ekološko neoporečen, ter potresno varen material z dobro toplotno in zvočno izolativnostjo. Poleg tega pa naj bi bil trajen, trden in negorljiv. Tako so raziskovalci razvili porobeton, ki združuje vse omenjene lastnosti.

Prikazani primer obravnava zidake oz. njihovo proizvodnjo iz različnih materialov, med katerimi je tudi porobeton.

Ker je poraba materiala v gradbeništvu velika (nekateri podatki navajajo, da se v gradbeništvu porabi do 40 % vseh naravnih materialov), je uporabljena funkcionalna enota  $1 \text{ m}^3$  zidakov. Slika 4.1 prikazuje potrebo po vhodnih mineralnih surovinah za proizvodnjo funkcionalne enote.



Slika 4.1: Prikaz razmerja med volumnom gradbenega materiala in volumnom porabljenih surovin (Katalog izdelkov Yitong, 2006.)

Črni stolpec prikazuje razmerje med porabo surovin in volumnom zidakov iz porobetona pri različnih mehanskih lastnostih, medtem ko rumen stolpec prikazuje razmerje med volumnom porabljenih osnovnih surovin in primerjanega gradbenega elementa (opečni zidak, silikatni zidak ...)

Pri proizvodnji porobetonskih zidakov je v  $1 \text{ m}^3$  zidakov vgrajeno od 0,2 do 0,3  $\text{m}^3$  materialov iz naravnih virov; v zidake iz navadnega betona je vgrajeno od 0,9 do 1  $\text{m}^3$  betona. Zidaki iz porobetona dosegajo takšno razmerje zaradi velikega števila por, v katerih se nahaja zrak. Poleg manjše porabe materiala je



veliko število zračnih por zaželeno tudi zato, ker povečuje toplotno izolativnost zidu. Ta posledično povečuje energetske učinkovitost objekta.

Večja poraba osnovnih (vhodnih) materialov pomeni tudi več porabljenih fosilnih goriv za izkop in transport teh sredstev. Transportna sredstva z izgorevanjem fosilnih goriv, pri katerem se sprošča ogljikov dioksid, močno vplivajo na onesnaževanje okolja. V ozračje spuščajo tudi precej žveplovega dioksida, kar je največji povzročitelj zakisovanja tal. Poleg transporta vpliva porabljen količina osnovnih sredstev tudi na porabo energije za pripravo izdelkov. Vendar je poraba energije v proizvodnem procesu najbolj odvisna od tehnološkega procesa, kar pomeni, da se največ energije porabi pri pripravi opečnih izdelkov (zaradi žganja gline pri visokih temperaturah), najmanj pa pri proizvodnji navadnega betona. Količina odpadkov, ki jih s proizvodnjo gradbenih izdelkov pridemo, pa je načeloma sorazmerna s porabo osnovnih materialov.

Ytong pri teh podatkih verjetno nekoliko manipulira in podaja le podatke, pri katerih se njihovi izdelki dobro odnesejo, kljub temu pa lahko pridemo do zaključka, da je v smislu porabe naravnih mineralnih virov proizvodnja in uporaba izdelkov iz porocementa v primerjavi z izdelki iz žgane gline bolj sprejemljiva za okolje.

Iz tega primera lahko sklepamo, da nam analiza življenjskega cikla produkta lahko precej pomaga pri izbiri materiala za gradnjo, saj bomo s tem okolju naredili najmanj škode.

#### **4.2 Prikaz vpliva na okolje in stroškov različnih konstrukcijskih modelov s pomočjo LCA-metode**

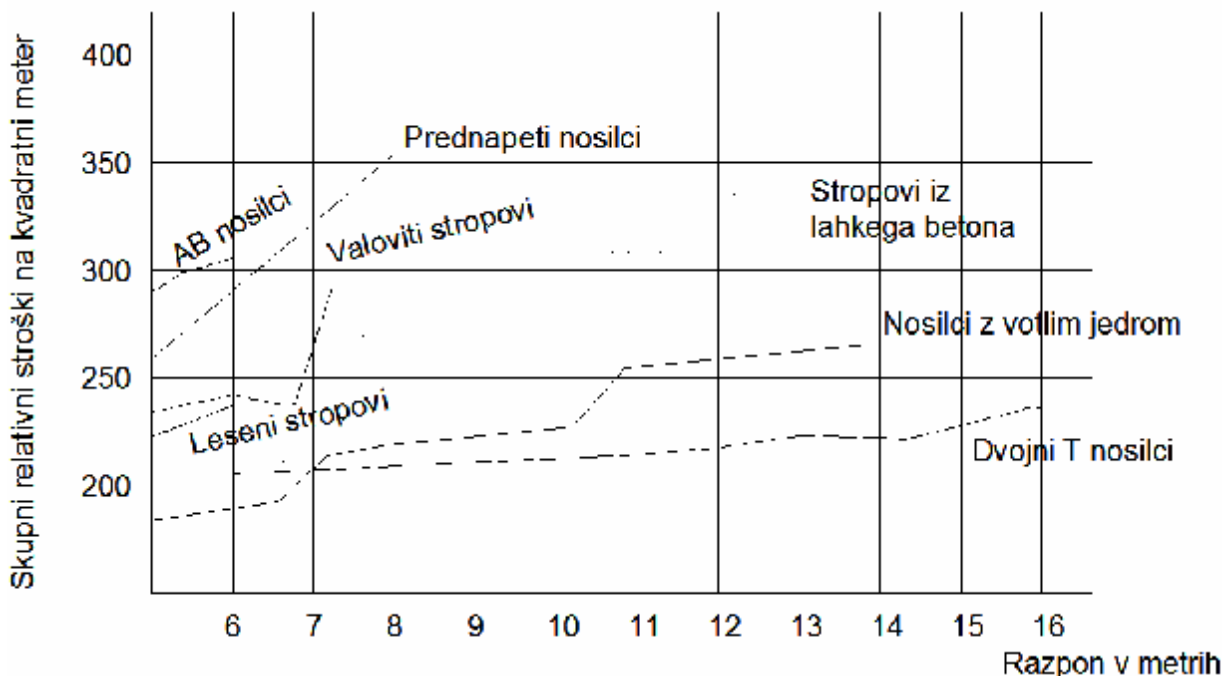
V tem poglavju bi radi pokazali razliko v stroškovni ceni med različnimi konstrukcijskimi sklopi v večnadstropni hiši. Omenjena metoda se imenuje stroškovna metoda in jo pogosto uporabljamo skupaj z analizo življenjskega cikla. Kombinacija omenjenih metod omogoča inženirju končno oceno stroškov, ki jih bo z nekim objektom povzročil, ter mu pomaga, da se nam ne zgodi primer, ko bi poskušali čim bolj zmanjšati vpliv na okolje, ali z drugimi besedami strošek na okolje, pri tem pa bi povzročili ogromne stroške izdelave takšnega izdelka ali objekta. Pomaga nam tudi v obratnem smislu, ko bi poskušali doseči čim manjše proizvodne stroške, obenem pa bi povzročili izjemno velike stroške na okolje.

#### 4.2.1 Primer kvadratnega metra stropne konstrukcije

Kot funkcionalno enoto bomo vzeli en kvadratni meter tal stanovanja v času življenjskega cikla stavbe, skupaj s horizontalnimi in vertikalnimi strukturami in skupaj s pohištvom, ki je postavljeno na omenjena tla. Za življenjsko dobo omenjenih stropov vzamemo čas 50 let.

Slika 4.2 prikazuje relativne stroške za različne primere stropov v odvisnosti od razpona. Stropovi so dimenzionirani na obtežbo  $2,5 \text{ kN/m}^2$ , na 120 minut požarne odpornosti ter ustrezajo nemškemu standardu glede zvočne izolativnosti.

Skupni stroški so prikazani kot vsota vplivov na okolje in ekonomskih stroškov. Vrednosti vplivov na okolje izrazimo oziroma prevedemo v denarno vrednost. V te stroške smo vključili pridobivanje osnovnega materiala, energijo, vodo itd. To smo ocenili s pomočjo LCA-metode. Ta postopek je izdelan v skladu s standardom ISO 14041. Rezultate smo privzeli iz strokovnega gradiva (fib Bulletin, 2006.), avtor pa jih je pridobil s pomočjo računalniškega programa »GreenCalc«.



Slika 4.2: Prikaz skupnih stroškov za kvadratni meter stropa glede na razpon (fib Bulletin, 2006.)

Za inženirja je takšna primerjava zelo pomembna, saj se lahko na osnovi takšnega prikaza odloči, katero vrsto stropov bo izbral. V primeru, da imamo razpon 6,5 m, imamo na razpolago naslednje tipe stropov: strop iz prednapetih nosilcev, valovit strop, strop iz lahkega betona, strop iz nosilcev z votlim jedrom in strop, narejen z dvojnimi »T« nosilci. Stropovi iz armiranih nosilcev ter leseni stropovi zahtevanemu razponu ne zadostijo, saj ta dva tipa stropov zaradi svojih mehanskih lastnosti zagotavljata razpone le do šest metrov.

Naslednji primer nam prikazuje vpliv na okolje, ki ga povzročijo nosilci, izdelani z različnimi tehnologijami. Imamo štiri različne zasnove konstrukcije:

- Konstrukcija A predstavlja tradicionalen način gradnje, za katero uporabimo »sendvič« fasadne panele, prednapete nosilce z votlim jedrom (marka betona, MB 55) ter armirane prečke in stebre, izdelane z betonom marke MB 35 – 40. Prečke premoščajo razdalje 8,10 m, medtem ko nosilci premoščajo razdaljo med 5,10 in 10,80 m.
- Konstrukcija B je podobna konstrukciji »A«, s to razliko, da so prečke izdelane s tehnologijo prednapetih nosilcev.
- Konstrukcija C se od konstrukcije »B« razlikuje po tem, da je v vseh stebrih, gredah in prečkah uporabljena večja trdnost betona (marka betona, MB 55).
- Konstrukcija D prevzema obtežbo fasadnih elementov s prednapetimi nosilci, ki imajo votlo jedro in največji razpon 16,20 m.

Preglednica 4.1: Primerjava vpliva na okolje montažnih konstrukcij (fib Bulletin, 2006.)

Tip konstrukcije	Vpliv		Plošča	Prečke in stebri	Zunanje stene	Ostali deli	Skupaj	Prevoz skupaj
Konstrukcija A	Energija (MJ/m <sup>2</sup> )	Ne obnovljiva	584	330	204	15	<b>1133</b>	115
		Obnovljiva	19	61	29	1	<b>110</b>	0
	Emisije v zrak (g/m <sup>2</sup> )	CO <sub>2</sub>	58938	32657	21165	1657	<b>114417</b>	8689
		SO <sub>2</sub>	252	146	91	6	<b>495</b>	25
		Etan	12	8	4	0	<b>24</b>	5
Konstrukcija B	Energija (MJ/m <sup>2</sup> )	Ne obnovljiva	583	341	204	15	<b>1143</b>	107
		Obnovljiva	21	38	29	1	<b>89</b>	0
	Emisije v zrak (g/m <sup>2</sup> )	CO <sub>2</sub>	58796	31760	21162	1657	<b>113375</b>	8042
		SO <sub>2</sub>	252	123	91	6	<b>472</b>	80
		Etan	12	6	4	0	<b>22</b>	4
Konstrukcija C	Energija (MJ/m <sup>2</sup> )	Ne obnovljiva	607	306	204	15	<b>1132</b>	103
		Obnovljiva	23	32	29	1	<b>85</b>	0
	Emisije v zrak (g/m <sup>2</sup> )	CO <sub>2</sub>	60672	28581	21162	1657	<b>112072</b>	7779
		SO <sub>2</sub>	256	109	91	6	<b>462</b>	78
		Etan	12	6	4	0	<b>22</b>	4
Konstrukcija D	Energija (MJ/m <sup>2</sup> )	Ne obnovljiva	817		268		<b>1085</b>	105
		Obnovljiva	26		38		<b>64</b>	0
	Emisije v zrak (g/m <sup>2</sup> )	CO <sub>2</sub>	79718		27738		<b>107456</b>	7898
		SO <sub>2</sub>	329		119		<b>448</b>	79
		Etan	16		6		<b>22</b>	4

Iz preglednice 4.1 lahko opazimo, da igra osnovni material zelo pomembno vlogo pri obremenjevanju okolja. To pa nas sili k čim bolj optimizirani potrošnji, še posebej pri prefabriciranih elementih, saj je v tem primeru omogočena najboljša kontrola proizvodnje. Zaradi tega velja, da je pri prefabriciranih elementih potrošnja osnovnih materialov najmanjša. Prav tako vpliva na zmanjšanje potrošnje osnovnih materialov sama proizvodnja, za katero je pomembno, da jo podjetje vedno prilagaja in optimizira. Izdelava prefabriciranih elementov nam dovoli pripravo betona z optimalno sestavo, s čimer lahko vplivamo na zmanjšano potrošnjo cementa, ki v največji meri vpliva na onesnaževanje okolja. Z izdelavo

prednapetih elementov vplivamo na zmanjšano porabo jekla (armature), ki je še en zelo pomemben onesnaževalec okolja. Današnja tehnologija grajenja nam omogoča vse večjo uporabo takšnih izdelkov.

#### 4.2.2 Izbira med prefabriciranimi nosilci in nosilci, narejenimi na gradbišču

Čeprav se zdi, da različna izbira prefabriciranih elementov nima velikega vpliva na okolje, pa bomo v nadaljevanju videli, kakšna je razlika med uporabo prefabriciranih elementov in proizvodnjo elementov na gradbišču.

Primerjajmo porabo energije, ki je potrebna za izdelavo montažnih stropov in stropov, izdelanih na gradbišču. Rezultati, ki so prikazani v preglednici 4.2, prikazujejo porabo energije za pripravo posamezne količine, ki jo za gradnjo potrebujemo. Rezultati so prikazani v MJ/m<sup>2</sup>. Za transport, ki ga prikazujemo v preglednici, velja, da smo uporabili enake razdalje. To pomeni, da je betonarna, kjer pripravljajo beton za gradbišče, enako oddaljena kot obrat, v katerem izdelujejo prikazane nosilce. Velja tudi, da beton, ki ga potrebujejo za nosilce, pripravijo v samem obratu.

Preglednica 4.2: Poraba energije pri proizvodnji stropov (fit Bulletin 21, 2006.)

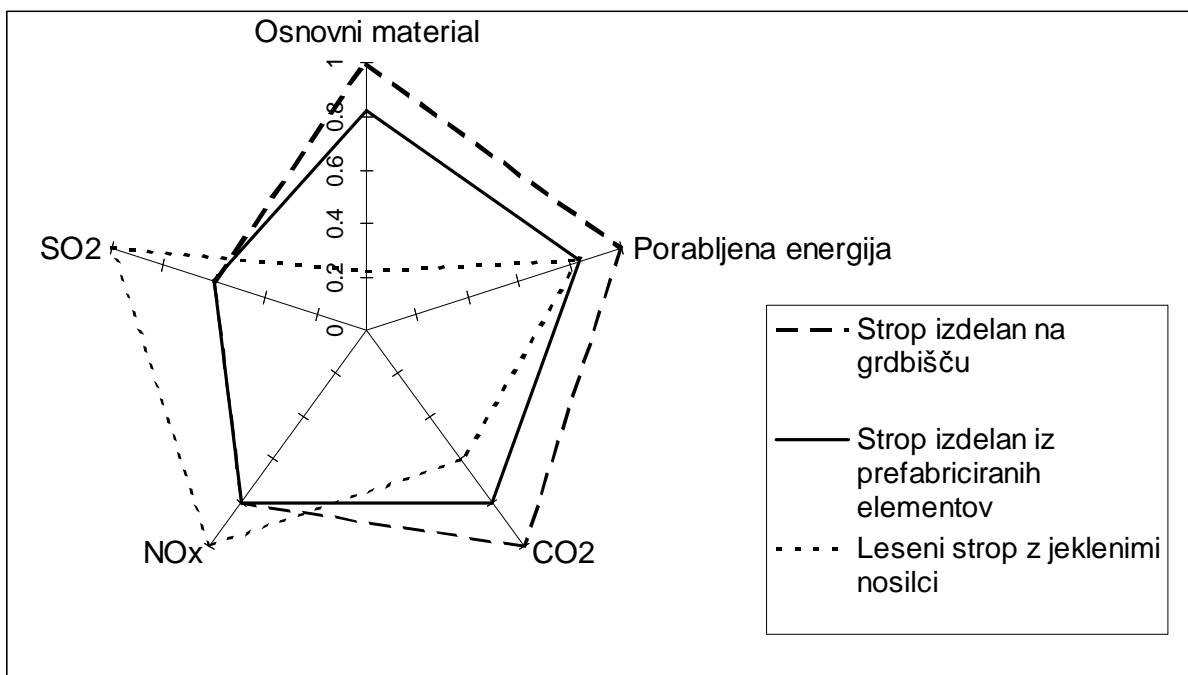
Predmet	Poraba energije pri proizvodnji prefabriciranih nosilcev z votlim jedrom (MJ/m <sup>2</sup> )	Poraba energije pri proizvodnji nosilcev na gradbišču (MJ/m <sup>2</sup> )
Cement	186	389
Armatura	45	60
Ostali osnovni material	15	23
Proizvodni proces	128	32
Transport	28	42
Skupaj	401	560

V preglednici lahko opazimo, da se največja razlika pojavi pri cementu, kar je posledica večje porabe betona. Na gradbišču namreč ne moremo izdelati nosilcev, ki so votli. Razlika pri armaturi se pojavi

zaradi natančno izdelanega betona večje trdnosti, kateremu se dodajo razni dodatki. Posledica tega so enake mehanske lastnosti ob manjši porabi armature. Ostali osnovni materiali zajemajo predvsem les in embalažo. Na gradbišču se porabijo enormne količine lesa za opaže, ki ga je sčasoma potrebno dati med odpadni material. Pri prefabriciranih izdelkih so kalupi izdelani iz jekla in so v uporabi zelo dolgo časa. Poraba energije v proizvodnem procesu je manjša na gradbišču, saj se pri proizvodnji uporablja dosti manj strojne tehnike.

### 4.2.3 Primerjava vpliva različnih načinov gradnje

Poglejmo si še primerjavo porabljene energije, vhodnih materialov,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}_2$  in  $\text{NO}_x$  med betonskim stropom, narejenim na gradbišču, montažnimi elementi in lesenim stropom z jeklenimi nosilci.



Slika 4.3: Primerjava vpliva različnih načinov gradnje na okolje (fib Bulletin 21, 2006.)

Opazimo lahko, da ima največji vpliv na okolje tehnologija gradnje na samem gradbišču, kar prikazuje velika poraba osnovnih materialov in energije. Veliko količino nastalega  $\text{CO}_2$  pripisujemo izdelavi cementa, saj je potrebno za pripravo cementa žgati apnenec na  $1300^\circ\text{C}$ . Manjšo količino  $\text{SO}_2$  v primerjavi

z leseno-jeklenimi stropovi pripisujemo izdelavi nosilcev v jeklarni. Za leseno-jeklene stropove je značilno večje onesnaženje okolja z  $SO_2$  in  $NO_x$ , ki nastaneta pri izdelavi jeklenih nosilcev v jeklarnah, medtem ko je v primerjavi z ostalima načinoma gradnje v tem primeru najmanjša poraba osnovnih materialov. Gradnja s prefabriciranimi elementi se v tem primeru izkaže za najbolj prizanesljivo do okolja, saj v primerjavi z ostalima načinoma dosega povprečno najmanjše vrednosti posameznih količin.

Kot posledico nastanka odpadnih snovi si v nadaljevanju pogledjmo seznam vplivov na okolje, ki nastanejo pri proizvodnji medetažnih armiranobetonskih plošč. Pri tem primerjamo tri različne tehnologije izdelave plošče: prefabricirane plošče z votlim jedrom, izdelavo z opažem iz lesenih nosilcev («shuttering slab») ter klasična plošča, ki se betonira na gradbišču. Originalna študija je bila izvedena na Nizozemskem. (fib Bulletin 21, 2006.)

Preglednica 4.3: Prikaz okoljskih vplivov, ki nastajajo pri proizvodnji medetažne AB-plošče (fib Bulltein 21, 2006.)

	Plošča z votlim jedrom	Plošča, izdelana z opažem iz lesenih nosilcev	Plošča, narejena na gradbišču z običajnim opažem
Cement ( kg )	236,72	423,00	423,00
Armatura ( kg )	3,22	6,44	6,11
Skupna masa ( kg )	266,94	429,44	429,11
Evtrofikacija ( kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> eq. )	0,0356	0,0448	0,0410
Redčenje zraka ( × 10 <sup>-12</sup> )	0,0468	0,0621	0,0707
Ekotoksičnost ( × 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	2,78	5,52	5,81
Toplogredni plini ( kg CO <sub>2</sub> eq. )	55,2	58,6	53,4
Zakisovanje ( kg SO <sub>2</sub> eq. )	0,252	0,321	0,306
Poletna meglica ( kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq. )	0,0297	0,0453	0,0460
Toksičnost ( kg )	0,318	0,429	0,411
Porabljena energija ( MJ )	461	592	643
Odpadni material ( kg )	36,3	59,6	58,3

Pregled vrednosti, ki so zbrane v preglednici 4.3, kaže, da ima proizvodnja ter montaža prefabriciranih AB-plošč najmanjše vrednosti vplivov na vse obravnavane okoljske indikatorje. Projektant z izbiro prefabriciranih nosilcev z votlim jedrom torej najmanj vpliva na onesnaževanje okolja, čemur zlasti botruje manjša potreba po materialih.

Rezultati, zbrani v razdelku 4.2, zelo zgovorno prikazujejo pomen izbire tehnologije gradnje za okoljske vplive. Odločitev o izbiri načina gradnje bi torej morali presoјati tudi z okoljskega vidika, pri čemer bi uporabili metodo LCA.



Prikazani primeri kažejo, da so glede na rezultate metode LCA okoljsko najbolj primerni prefabricirani armiranobetonski elementi. Gradnja v tem primeru poteka pod natančnimi kontrolami in zelo natančno odmerjenimi količinami osnovnih materialov, uporabljenih v betonskih mešanicah. Posledica tega je manjša poraba cementa, ki v največji meri vpliva na okolje. Še boljše rezultate pa dosežemo z uporabo votlih plošč, kjer pri enaki nosilnosti bistveno zmanjšamo potrebo po betonu.

### **4.3 Prikaz načina odločanja o zasnovi objekta s pomočjo metode LCA**

Metodo LCA lahko uporabimo tudi za celoten gradben objekt, pri čemer moramo upoštevati fazo gradnje ter fazo uporabe objekta. Preglednica 4.4 prikazuje relativno porabo energije tipične enodružinske hiše v obdobju uporabe (50 let). Vidimo lahko, da se 85 % energije porabi v fazi uporabe, pri čemer največji delež predstavlja ogrevanje. V materiale in komponente, ki sestavljajo objekt, je vgrajeno 10 % celokupne energije objekta. Nadalje rezultati kažejo, da se v obravnavanem obdobju za vzdrževanje in popravila porabi skoraj tretjina energije, ki je bila vgrajena v objekt v času gradnje.

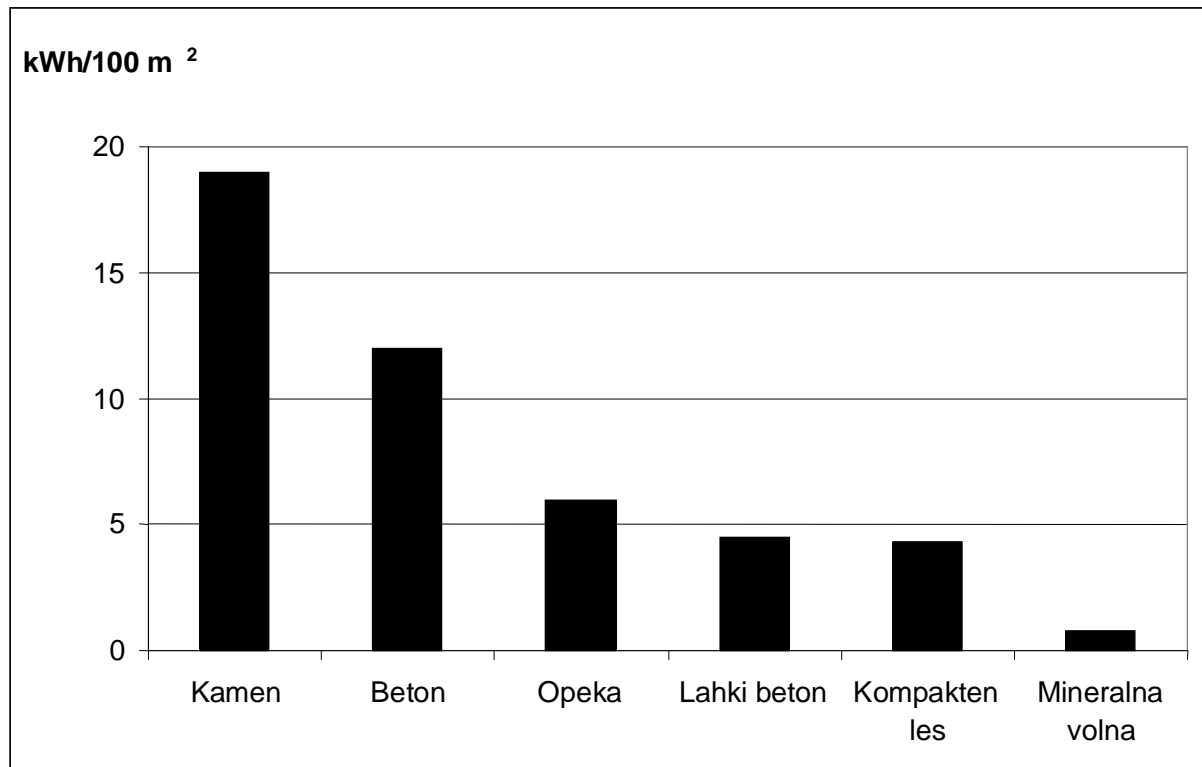
Preglednic 4.4: Pregled porabe energije v obdobju petdesetih let za enodružinsko hišo (fib Bulletin, 2006.)

Dejavnost	kWh/( m <sup>2</sup> ×50 let )	Procentualni delež ( % )
Proizvodnja materiala in komponent	730	10
Transport materiala in komponent	30	–
Gradnja	50	1
Uporaba (ogrevanje, topla voda, luči)	6400	85
Vzdrževanje in popravila	330	4
Vzdrževanje in popravila transportnih sredstev	< 10	–
Obraba	< 10	–
Obraba transportnih sredstev	20	–

Zato je še posebej pomembno, da inženirji in arhitekti pri načrtovanju uporabijo takšno zasnovano objektov in konstrukcij, ki pripomorejo k zmanjšanju porabe energije za ogrevanje objektov. V nadaljevanju si bomo pogledali principe, katerih uporaba vodi k zmanjšani potrebi po ogrevalni energiji objekta med njegovo uporabo.

Pri oblikovanju konstrukcij z debelimi monolitnimi stenami lahko izkoriščamo toplotno kapacitivnost materiala. Vsi imamo izkušnjo, kako je, ko pridemo v prostor, ki ga obdajajo debeli zidovi. To je na primer pri starejših hišah, kjer so zidovi debeli osemdeset ali več centimetrov. Ko v vročih dneh vstopimo v tak prostor, je klima v njem precej bolj prijetna. Obraten pojav se pojavi v mrzlih zimskih dneh, ko stene v prostoru zadržijo precej toplote.

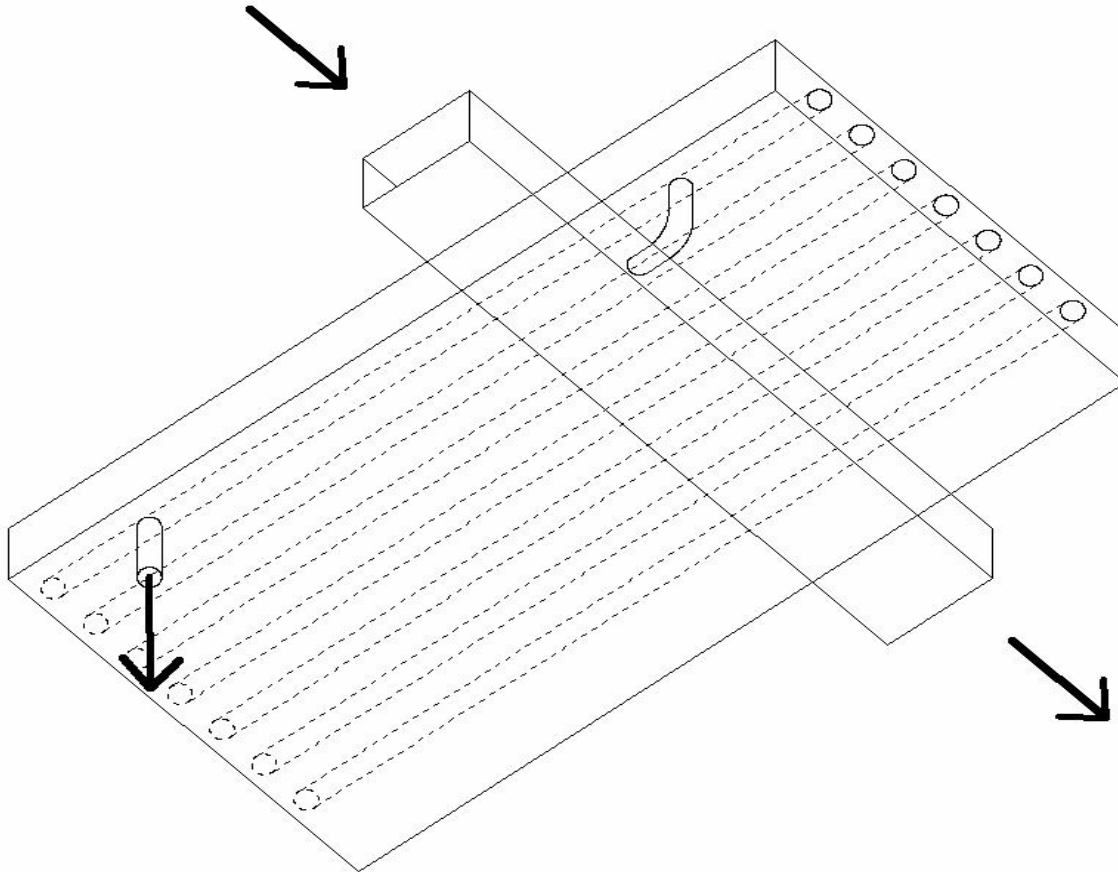
Specifična notranja toplotna kapacitivnost betona znaša  $2400 \text{ kJ/m}^3/\text{°K}$ . Povprečna vrednost porabljenega betona za eno sobo znaša  $30 \text{ m}^3$ , kar pomeni, da moramo v prostor dovesti  $70 \text{ MJ}$  energije, če želimo, da se temperatura sten prostora dvigne za  $1\text{°C}$ . Stena torej absorbira toploto, če se temperatura zraka dviguje, ter jo sprošča s časovnim zamikom v primeru, da se temperatura zraka znižuje. To lastnost materialov izkoriščamo za to, da uravnavamo nihanja temperature v notranjosti stavbe, na primer s pomočjo uporabe masivnih sten v notranjosti objekta. Na sliki 4.4. so prikazane notranje toplotne kapacitivnosti različnih gradbenih materialov. Materiali z večjo gostoto imajo večjo toplotno kapacitivnost kot materiali, ki vsebujejo zračne pore (npr. mineralna volna).



Slika: 4.4: Notranje toplotne kapacitvnosti posameznih gradbenih materialov (fib Bulletin 21, 2006.)

Nadalje lahko pri projektiranju objektov, v katere so vgrajeni prefabricirani nosilci in votle plošče, izkoriščamo toploto, ki jo oddaja po votlinah krožeči zrak. S tem se lahko potreba po energiji zmanjša tudi do 40 % celotne energije. (fib Bulletin 21, 2006.)

Takšno konstrukcijo sestavljajo nosilci z votlim jedrom, ki so povezani s predhodno izdelanimi ploščami. V ploščah so kanali, po katerih kroži zrak. Plošča mora biti z nosilcem povezana tako, da prihaja zrak v ploščo iz nosilca. Opisana izvedba pride še posebej do izraza v večnadstropnih stavbah, pri katerih z zračnimi kanali medsebojno povežemo posamezne stropove, tako da lahko potuje zrak od prvega do zadnjega (najvišjega) stropa. Pri tem se izkorišča lastnosti toplega zraka, ki se dviguje in s tem oddaja toploto.



Slika 4.5: Sistem, ki izkorišča kroženje toplega zraka v betonskih medetažnih elementih (fib Bulletin, 2006.)

Sistem deluje tudi v poletnih mesecih. Takrat konstrukcija s svojim načinom delovanja ohlaja prostore nad stropom in nadomešča delovanje klimatske naprave. Uporaba take konstrukcije nam omogoča do 35 % manjšo porabo energije za ogrevanje in do 10 % manjšo porabo energije za hlajenje.

Da konstrukcijo izkoristimo v polni meri, na takšno ploščo ne smemo polagati drugih materialov, kot so na primer les, plastika in podobni materiali. Poleg tega, da bi z uporabo teh materialov zmanjšali ta učinek, prihranimo še na lastni teži konstrukcije. S tem zmanjšamo obremenitve in posledično zmanjšamo dimenzije nosilnih elementov. Na opisani način lahko prihranimo 5 do 7 % stroškov konstrukcije.

V tem razdelku smo pokazali, kako izbira materiala, vrste konstrukcije in zasnova objekta vplivajo na obremenitev okolja. Rezultati so v nekaterih primerih pomembni, saj nam lahko na primer spremenjena zasnova vrste plošče prinese prihranek pri porabljeni energiji do 40 %. To pa pomeni, da smo v zrak spustili precej manj toplogrednih plinov, ki so eden najpomembnejših indikatorjev obremenitve okolja. Predstavljeni primeri kažejo, da lahko uporaba analize življenjskega cikla za gradbene proizvode in objekte precej doprinese k zmanjšanju človekovih vplivov na okolje. Zato bi lahko analiza življenjskega cikla postala orodje za odločanje projektantov oziroma investorjev o izbiri materiala, vrsti konstrukcije in zasnovi objekta.

## 5 ANALIZA VPLIVA PROIZVODNJE BETONSKE STENE

Za analiziranje vpliva na okolje smo si izbrali dva primera:

- proizvodnjo armiranobetonske stene na gradbišču in
- proizvodnjo prefabricirane armiranobetonske stene

Oba primera želimo analizirati s programsko opremo SimaPro 7 Demo, ki so ga razvili na univerzi Leuven na Nizozemskem. ([www.pre.nl](http://www.pre.nl), 7.12.2006.)

Analizo izbranih primerov je že izvršil Matelič (2006) s pomočjo programske opreme EcoConcrete, ki je bila izdelana pod okriljem Evropske zveze proizvajalcev transportnega betona (European Ready Mix Concrete Association, ERMCO) in je posebej prirejena za analizo armiranobetonskih elementov. V tem diplomskem delu želim s pomočjo študija istih primerov ugotoviti, v čem se razlikujeta programa SimaPro in EcoConcrete, ter ugotoviti, kako se razlikujejo rezultati, dobljeni z njima.

### 5.1 Računalniški program SimaPro 7 Demo

SimaPro je računalniški program, ki je namenjen določanju vplivov proizvodov na okolje. Prva verzija programa je bila izdelana leta 1990. Pretežno se uporablja na področju Evrope, Amerike, Avstralije, Indije, Kitajske in Japonske. Program so razvili na Nizozemskem kot orodje za pomoč načrtovalcem in inženirjem, ki so razvijali nove materiale, proizvode in storitve. Demonstracijska verzija je dostopna na spletu. ([www.pre.nl](http://www.pre.nl), 6.11.2006.)

Prednost tega programa je v tem, da pokriva vse industrijske panoge in ne le specifičnih področij, kot sta na primer gradbeništvo ali kemična industrija. Inventar, ki ga zajema SimaPro 7, ima čez 10 000 podatkov, ki so pridobljeni in usklajeni med vsemi omenjenimi državami in kontinenti, ki ta program uporabljajo. Podatki se stalno obnavljajo in dopolnjujejo tako, da program vsebuje najnovejše podatke s področja varovanja okolja.

Pomen računalniških programov v LCA-študijah je predvsem v tem, da imajo v ozadju že pripravljene knjižnice podatkov, ki nam jih torej ni potrebno dodatno iskati in pripravljati.

Z interno raziskavo, ki so jo izvedli na univerzi Leuven, so ugotovili, da za računalniški program SimaPro 7 velja, da ima v knjižnici podatkov shranjenih več kot 80 % podatkov, ki jih potrebujemo za katerokoli študijo. SimaPro ima uvedeno zelo obširno Ekoinvent knjižnico, ki pokriva preko 2500 procesov. Omenjeno knjižnico podatkov pripravlja švicarski inštitut ETH, ki ureja dve mednarodno uveljavljeni bazi podatkov:

- ETH – ESU 96
- BUVAL 250

Za ti dve bazi je značilno, da pokrivata zelo širok krog podatkov in sta zato primerni tako za posamezen proces kakor tudi za celoten sistem procesov. Za knjižnico v SimaPro velja, da lahko podatke nenehno dopolnjujemo iz omenjenih baz podatkov, ki se v inštitutu vsakodnevno obnavljajo. Poleg tega pa v knjižnico programa lahko vnašamo tudi svoje podatke in jih nato uporabljamo pri ostalih projektih.

SimaPro deluje tako, da začne z glavnim procesom, ki smo ga podali v inventarju, ter nato določa, kako pomemben je naslednji proces. Za vsak spodaj ležeči proces se program premakne nivo nižje. Pripravljeni model proizvodnega procesa je torej matrično zasnovan.

Primer bomo obdelali z demo verzijo, ki se jo da dobiti brezplačno ([www.pre.nl](http://www.pre.nl), 6.11.2006.), vendar pa ta verzija ne nudi vseh podatkov, ki jih program SimaPro 7 v celoti ima.

## **5.2 Opis programa SimaPro 7**

Program SimaPro 7 sestavljajo naslednji pomembni deli:

- Prvo orodno vrstico programa sestavljajo ukazi:

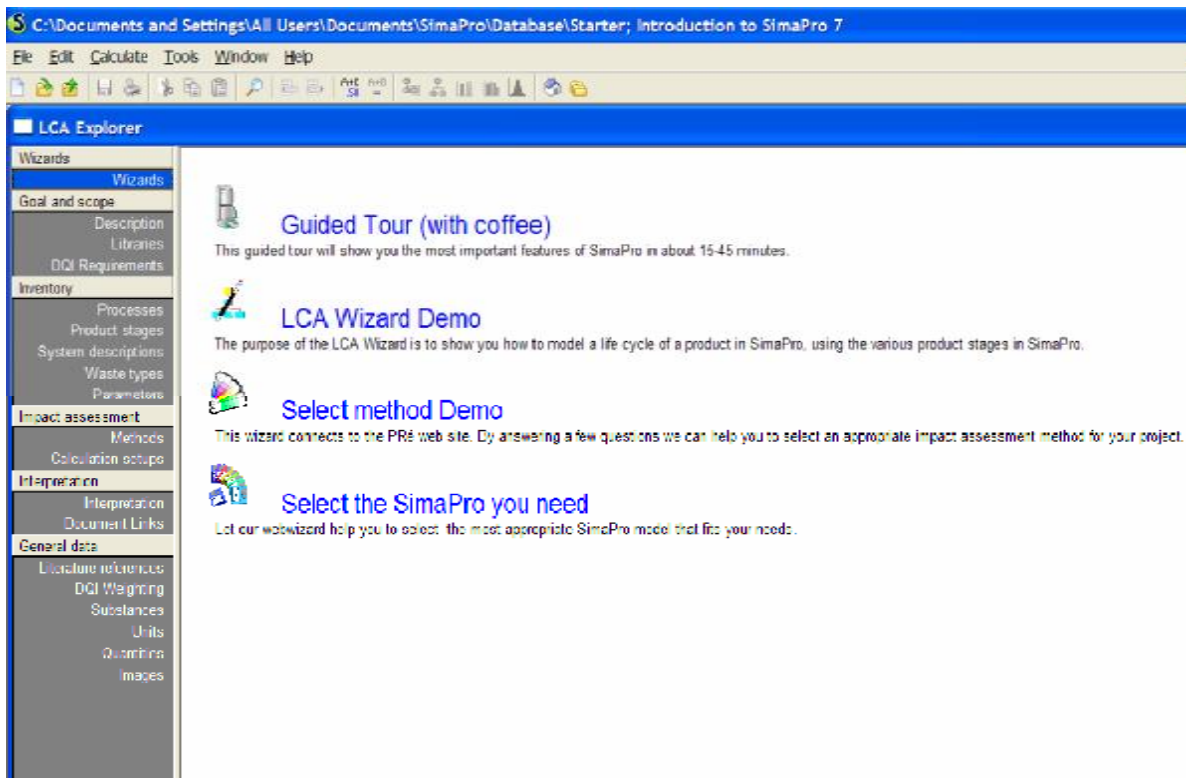
*File, Edit, Calculate, Tools, Window in Help.*

V tej vrstici se nahajajo vsi ukazi, ki jih uporabnik potrebuje za izdelavo željene študije, vendar pa se uporaba ukazov iz te vrstice ne obnese preveč dobro. Uporaba teh ukazov je zamudna in nepregledna, poleg tega pa so vsi pomembni ukazi locirani v drugi orodni vrstici, ki se nahaja pod prvo, ali pa do njih pridemo z desnim klikom na miški.

- Drugo orodno vrstico sestavljajo bližnjice do naslednjih ukazov:

*Nov projekt, Odpri projekt, Zapri projekt, Shrani, Natisni, Kopiraj, Prilepi*, k tem sledijo še ukazi *Povečaj, Vnes vrstico, Izbriši vrstico* ter ukazi za prikaz rezultatov.

Zelo pomembni so ukazi, ki se nahajajo na levem robu ekrana in nam služijo za izdelavo študije. Postavljeni so v vrstnem redu, ki je potreben pri izdelavi projekta. Pod ukazom *Wizard* (čarodej) se nahajajo ukazi, ki so predstavljeni na sliki 5.1.



Slika 5.1: Prikaz uvodne strani programa, skupaj z ukazi, ki se na tej strani nahajajo



### 5.2.1 Goal and scope (definiranje cilja in obsega študije)

V SimaPro 7 imamo poseben, sektor, v katerem definiramo cilj in obseg študije. Na razpolago so nam trije ukazi:

**Opis (Description):** S klikom na ta ukaz nas program usmeri na stran, kjer avtor programa predstavi svojo licenco. V nadaljevanju je podan komentar, v katerem avtor opisuje primer, ki je v programu že shranjen. Na osnovi tega pa nas usmerja, kako se lotiti izdelave svoje študije in kaj nam prinese razlike v vrednosti rezultatov.

**Knjižnice (Libraries):** Na tej strani si izberemo, iz katerih baz bomo črpali podatke za izdelavo svoje študije. Na voljo imamo baze: BUWAL 250, ETH – ESU 96 System Processes, Industry data in Methods. Med na sliki 5.2 prikazanimi bazami podatkov lahko poljubno izbiramo in se s tem prilagajamo cilju študije.

**Nastavitve (DQI Requirements):** S tem ukazom določamo kvaliteto podatkov. Podatkom definiramo zelene karakteristike, ki se študiji najbolj podajajo. Potem ko je enkrat že oblikovan profil študije, opazimo, da DQI (*Data Quality Requirements*) področja v procesu indeksov dobijo različne barve. Zelena pomeni, da proces precej ustreza postavljenim zahtevam, rumena pomeni, da že manj ustreza; oranžna barva ozadja, pomeni, da je proces že precej neustrezen glede na naše zahteve, medtem ko rdeča pomeni, da gre za precejšnji odklon od zastavljenih ciljev.

Skozi ta tri področja nastavimo delovanje in potek študije v skladu s standardom ISO 14040.

### 5.2.2 Inventory (inventar)

Program SimaPro nam dopušča, da lahko sami definiramo podatke glede na svoje potrebe. Te podatke lahko shranimo v inventarne baze ter jih nato uporabljamo pri svojih študijah. V tem primeru je priporočljivo podatkom pripisati še nekaj lastnosti, ki nam pomagajo pri morebitnih kasnejših korekturah. Podatkom naj bi poleg datuma pripisali še področje uporabe, tip tehnologije, ki se pri proizvodnji uporablja, ter razporeditve podatkov, ki jih takšen sistem ima.

Organizacija, ki se ukvarja z razvojem programa, na svoji strani ponuja nekaj različnih primerov vprašalnikov, ki naj bi jih izpolnili pri pripravi podatkov. Obenem pa so nam merilo, ki govori o tem, koliko in kakšen tip podatkov je potrebno poznati, da bomo lahko oblikovali proces po svojih željah.

Preglednica 5.1: Prikaz primera vprašalnika, ki ga lahko najdemo na domači strani organizacije (<http://www.pre.nl>, 10.01.2007.)

B1 Energy inputs Please specify the total energy mix you use for the total production department. If you have data in other units than the ones proposed below, please mark them clearly.  For the allocation of energy over building (climate control etc.) processing you can use a percentage.			Why we want to know this? Energy is of course an important factor in the environmental load. With the allocation columns we want to further precise the allocation of energy inputs to the production.			Data Source for total		
Total	Total use in year X	Unit	Alt. Unit	Used for climate control, and lighting, etc.	Used for production machines	Direct data (derived directly from administrative systems)	Indirect data (Based some sort of calculation)	Estimated data
Electricity from public grid		kWh		%	%	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Natural gas		MJ		%	%	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Light Oil		MJ		%	%	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Heavy Oil		MJ		%	%	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Coal		MJ		%	%	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Heat from other suppliers (for instance steam and warm water)		MJ		%	%	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Own electric power generation from other sources (wind, water, sun and biomass)		kWh		%	%	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Total energy consumption		MJ		%	%	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

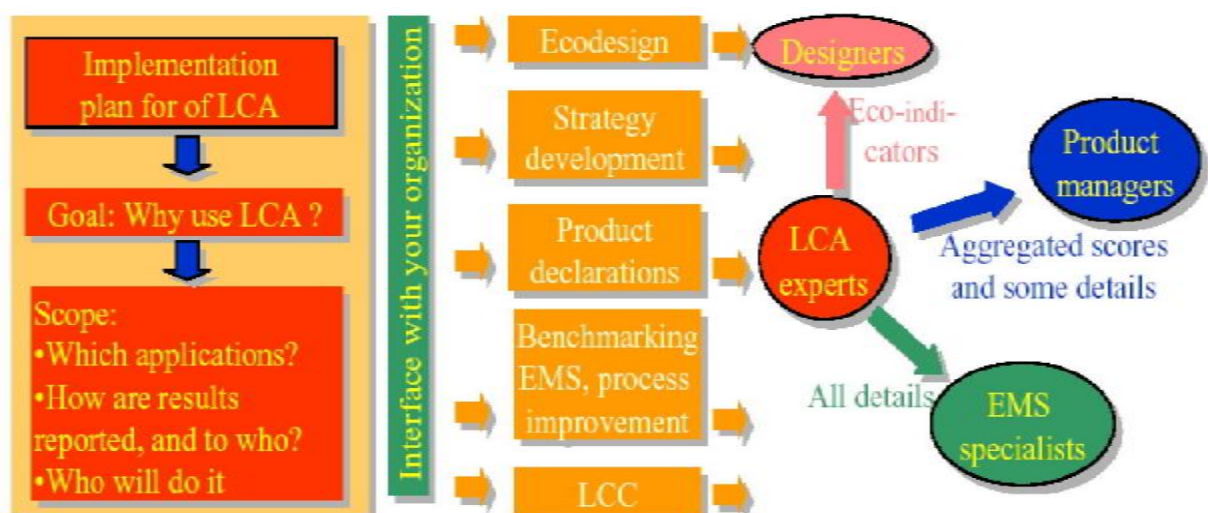
Primer vprašalnika je namenjen srednje velikim podjetjem, ki uporabljajo v svojih procesih posebne vrste energije. Vprašalnik je pripravljen tako, da lahko podatke odčitamo kar iz finančnih kazalcev. Na primer, porabo električne energije lahko očitamo kar z računa, ki smo ga dobili. Problem tega vprašalnika je, da v njem ne razčlenimo, koliko električne energije se porabi naprimer za ogrevanje, koliko za osvetljavo ter naprimer koliko za klimatske naprave. Tak vprašalnik je primeren, ko proizvodni proces ni preveč občutljiv na porabo električne energije in lahko sami razdelimo porabo med omenjene potrošnike.

Program SimaPro svoje strukture podatkov interpretira kot matrike, kar omogoča hitrejše delo s podatki. Posledica tega je, da je omogočeno prikazovanje podatkov v drevesni strukturi ali pa v obliki mreže.

Pri drevesni strukturi je vsak proces prikazan skupaj z vhodnimi podatki, kar pomeni, da če na porabo električne energije vpliva deset porabnikov, bo v drevesni strukturi prikazano to desetkrat. Slabost takega prikaza je torej ogromna struktura, ki zavzame veliko prostora, prednost pa je enostavno razumevanje prikaza. Mrežna struktura prikazuje proces samo enkrat, kar pomeni, da je posamezen proces lahko produkt celo desetih ali več produktov. Takšna struktura je dosti bolj varčna s prostorom, vendar jo je včasih težko razumeti.

### 5.2.3 Impact assessment (vplivne kategorije)

V SimaPro imamo na razpolago veliko število metod za določanje vplivnih kategorij, na nas pa je, da izberemo metodo, ki najbolj ustreza naši študiji. Vsaka metoda vsebuje od deset do dvajset vplivnih kategorij, med katerimi jih večina da enake rezultate. V SimaPro lahko vplivne kategorije spreminjamo ali prilagajamo, vendar največkrat uporabljamo vplivne kategorije, ki so shranjene v knjižnici. V pomoč nam je ISO standard, ki ima zelo jasne zahteve in ne dopusti posebnih drugačnosti.



Slika 5.2: Prikaz vplivnih kategorij (SimaPro 7 Introduction to LCA, 2007.)

SimaPro ima v svoji zbirki na razpolago naslednje vplivne kategorije:

- CLM 92

Za to vplivno kategorijo je značilno, da pri analizi ne vsebuje hrupa, vsebuje pa vplive na prst in porabo končnih drobnih materialov.

- ECO INDICATOR 95

Ne analizira vplivov, ki se pojavljajo na zemljiščih, medtem ko izčrpno analizira hrup in vpliv fosilnih goriv.

- ECO INDICATOR 99

V svoji analizi ne zajema hrupa.

- ESP 2000

Vsebuje vse zgoraj navedene primere, prav tako hrup, vendar je njena uporaba precej težavna.

V SimaPro preverimo izbiro vplivne kategorije z uporabo funkcije *Check Method*, ki se nahaja na desnem robu programskega okna. S klikom na ta ukaz se izpiše tabela s snovmi, ki jih metoda vsebuje. Najboljša izbira metode je tista, ki ima največ skupnih snovi z našo študijo. Poleg omenjene metode lahko uporabimo še druge različne metode, preverimo njihove končne rezultate in na ta način ugotovimo, kateri rezultati so najbolj ustrezni. Ta del študije pa ni tako zahteven, saj so si v primeru, ko ne pogrešamo bistvenih parametrov, rezultati precej podobni.

Program se pri določevanju vpliva na okolje opira na štiri analize, ki med potekom študije odgovarjajo na posamezna vprašanja.

### **Usodna analiza (»fate analysis«)**

Usodna analiza določa koncentracijo posamezne snovi v vodi, zraku in prsti. Na primer, ko kemično substanco spustimo v okolje, si ta najde pot v zrak, zemljo ali vodo. Usodna analiza odgovarja na vprašanja, koliko je substanca topna in koliko hitro je razgradljiva.

### **Izpostavljanje (»exposure«)**

Pri tej analizi dobimo odgovor, koliko (zdravju škodljivih) substanc bo prejel človek, koliko rastline in koliko katera druga oblika življenja.

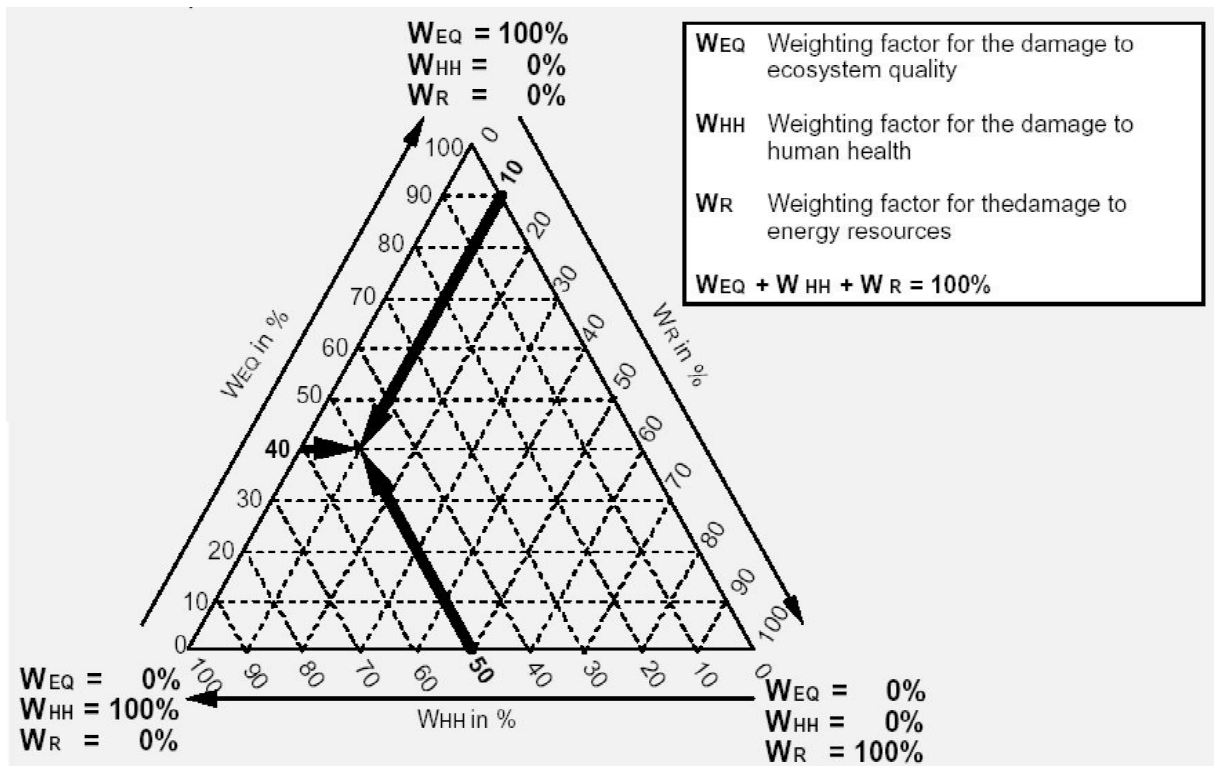
### **Analiza učinkovitosti (»effect analysis«)**

Pri enkratnem izpostavljanju določeni substanci je težko napovedati, kakšen vpliv je to imelo na zdravje posameznika ali na njegovo prezgodnjo smrt. Analiza učinkovitosti določi, koliko let bo določen človek izgubil pri enkratnem izpostavljanju določeni substanci, iz razmerja, pri kolikšnem izpostavljanju nastopi smrt. Torej, če nastopi smrt pri desetkratnem izpostavljanju določeni substanci, potem mu enkratno izpostavljanje zmanjša življenjsko dobo za desetino življenja.

### **Škodna analiza (»damage analysis«)**

Škodno analizo uporablja program za napovedovanje bolezni pri uživanju ali izpostavljanju določeni substanci. Sistem pri tem uporablja statistiko, ki jo je razvila Svetovna zdravstvena organizacija in temelji na faktorjih, ki jih določajo specialisti za posamezna področja medicine.

V SimaPro je pri procesu tehtanja uporabljen koncept trikotnikov. Omenjen koncept nam pomaga prikazovati rezultate LCA tako, da določamo faktorje tehtanja. Ta način iskanja faktorjev je zelo uspešen in transparenten glede izbire faktorjev, poleg tega pa lahko zelo na hitro določimo, na katerih področjih je proizvod A boljši od proizvoda B.



Slika 5.3: Koncept trikotne mreže, ki jo uporablja program SimaPro pri izbiri utežnih faktorjev (SimaPro 7 Introduction to LCA, 2007.)

Na posamezni stranici enakostraničnega trikotnika so navedene vrednosti posameznega faktorja tehtanja v procentih. Z izbiro dveh faktorjev avtomatično določimo tudi izbiro tretjega faktorja, saj se moramo držati pravila, da nam vsota treh faktorjev da vrednost 100 %.

### 5.2.4 Interpretation (interpretacija rezultatov)

Interpretacija podatkov v SimaPro je definirana z ISO-standardom, saj je na tak način možno najbolj enostavno in natančno poročati o rezultatih študije.

Program omogoča prikazovanje podatkov grafično v obliki mreže ali drevesa ter tabelarično s pomočjo tabel. Pri drevesni strukturi so posamezni procesi prikazani tolikokrat, kot ti v študiji nastopajo. Prispevki teh procesov so prikazani s pomočjo majhnega termometra na desnem robu pravokotnika, ki označuje posamezen proces. V primeru mrežne predstavitve je vsak primer prikazan le enkrat. V pomoč nam je tako imenovana težnostna analiza, ki nam prikazuje, kako je vpliv na okolje razporejen po mreži.

Pri tabelaričnih rezultatih imamo na voljo posamezne funkcije, s pomočjo katerih lahko rezultate poljubno prikazujemo:

- razporedimo rezultate po abecednem vrstnem redu, količini ...
- program nam lahko izpiše rezultate, ki so izraženi samo za določeno skupino (emisije v zrak, osnovni material ...)
- program nam lahko izpiše samo rezultate, ki vplivajo na posamezno vplivno kategorijo
- program nam rezultate prikaže v najbolj primerni enoti, npr. 0,00001 kg – 10 mg

### ***5.3 Analiza življenjskega cikla za primera AB-stene, izdelane na gradbišču, in prefabriciranega elementa***

Z računalniškim programom SimaPro 7 bomo analizirali primer armiranobetonske stene, izdelane na gradbišču, in nato še armiranobetonske stene z enakimi mehanskimi lastnostmi, ki pa je narejena kot prefabriciran element. Omenjena primera smo izbrali zato, da bomo lahko med seboj primerjali, kakšen vpliv na okolje ima različna tehnologija gradnje. Poleg tega pa bomo dobljene rezultate lahko primerjali še z rezultati Mateliča (2006), ki je primer armiranobetonske stene, narejene na gradbišču analiziral v svoji diplomski nalogi s podobnim programom EcoConcrete. V obeh primerih smo izbrali podatke o oddaljenosti gradbišča, načinu transporta itd., ki so enaki kot podatki Mateliča pri njegovi analizi referenčnega primera.

Za izvedbo študije posameznega primera smo določili naslednje podatke:

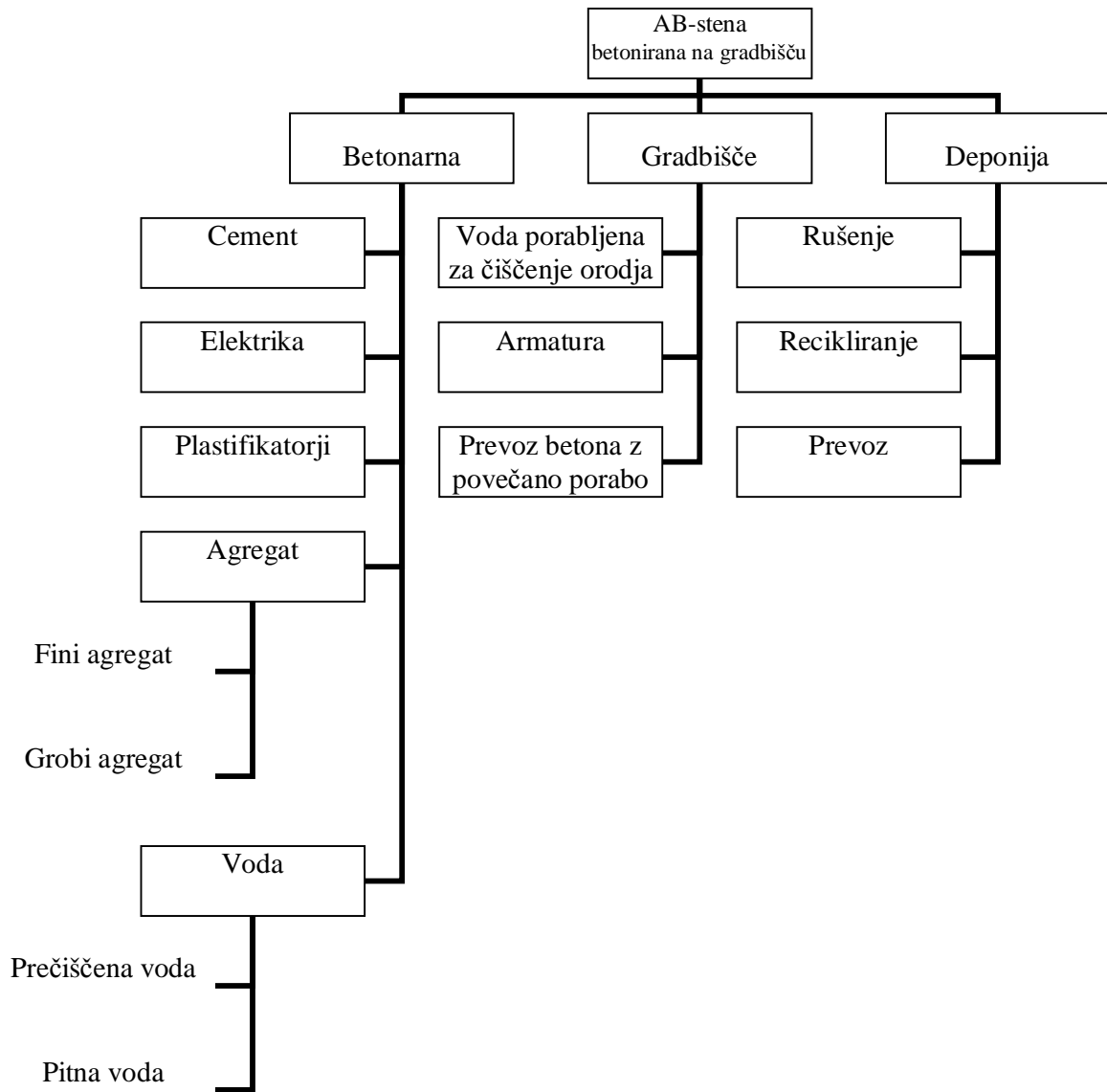
- količina posameznih vhodnih surovin (agregata, cementa in vode)
- oddaljenosti vhodnih surovin od betonarne
- oddaljenosti betonarne od gradbišča
- način prevoza vključno z izbiro tipa vozila
- stopnja recikliranja in način recikliranja
- oddaljenost deponije od gradbišča
- način prevoza recikliranega materiala vključno z izbiro tipa vozila

Primeri armiranobetonske stene se med seboj ne razlikujeta bistveno, različni so le količina vhodnih osnovnih surovin, potek priprave armiranobetonske stene in način prevoza.

### **5.3.1 Masivna stena, izdelana na gradbišču**

Za analizo življenjskega cikla masivne stene smo najprej pripravili inventarni seznam tako, da smo vanj vnašali določene podatke, ki smo jih izbrali v že pripravljeni bazi. Kot prevozno sredstvo za dostavo surovin v betonarno in dostavo betona na gradbišče imamo na razpolago tovornjake različnih kapacitet, med katerimi smo izbrali 28 tonske tovornjake. Podatke o oddaljenosti betonarne od gradbišča, (100 km) in oddaljenosti agregata, od betonarne (80 km), oddaljenosti cementa (100 km) ter plastifikatorjev (250 km) smo prevzeli od Mateliča. Ostale podatke o dodatni porabi goriva (razlika med maksimalno in minimalno porabo) pri črpanju betona ter rotirajočem se bobnu tovornjaka za prevoz betona, količini porabljene vode za pranje orodja na gradbiščih in v betonarni smo pridobili od betonarne Rokava d.o.o., na domači strani podjetja Liebherr, ki je eden izmed glavnih proizvajalcev gradbene mehanizacije, ter iz lastnih izkušenj. Prav tako smo od Mateliča prevzeli podatke glede rušenja in recikliranja. V programu SimaPro 7 nimamo na voljo ukaza o recikliranju gradbenega materiala, vendar nam program recikliranje opiše, s tem da je količina odpadkov za odlaganje manjša. Na sliki 5.3 predstavljamo grafično predstavitev vhodnih surovin, v preglednici 5.2 pa so zbrani vsi vhodni podatki.





Slika 5.4: Shematski prikaz snovnih tokov (gibanja surovin in vmesnih proizvodov) v proizvodnji armiranobetonske stene – betoniranje na gradbišču

Preglednica 5.2: Prikaz vhodnih podatkov za primer armiranobetonske stene

<b>FUNKCIONALNA ENOTA</b>	<b>VREDNOST</b>	<b>VREDNOST / m<sup>2</sup></b>
Obravnavana površina	1 m <sup>2</sup>	
Pripadajoča masa betonske mešanice	508 kg	
<b>SESTAVA BETONSKE MEŠANICE</b>		
Cement	365 kg/m <sup>3</sup>	73 kg
Prevoz cementa (tovornjak 28 t)	100 km	
Grobi agregat	800 kg/m <sup>3</sup>	160 kg
Fini agregat	1200 kg/m <sup>3</sup>	240 kg
Prevoz agregata (tovornjak 28 t)	80 km	
Plastifikatorji	3,3 kg/m <sup>3</sup>	1 kg
Prevoz plastifikatorjev (tovornjak 28 t)	250 km	
Rebrasta armatura	45 kg/m <sup>3</sup>	9 kg
Prevoz armature (tovornjak 28 t)	100 km	
Voda za pripravo betona - pitna	63 l/m <sup>3</sup>	13 kg
Voda za pripravo betona - reciklirana	62 l/m <sup>3</sup>	12 kg
Voda za čiščenje orodja na gradbišču	125 l/m <sup>3</sup>	25 kg
Tovornjak za prevoz vode (tovornjak 28 t)	202 t	40 t km
Dodatek goriva zaradi vrtenja hruške	13 l/5 m <sup>3</sup>	0,5 l
Elektrika za mešanje betona	9,5 kW/m <sup>3</sup>	2 kW
Stroj za rušenje		0,212 m <sup>2</sup>
<b>ŽIVLJENJSKI CIKEL - PROIZVODNJA</b>		
Masivna stena	1	
<b>ŽIVLJENJSKI CIKEL - PREVOZ NA GRADBIŠČE</b>		
Tovornjak za prevoz betona (tovornjak 40 t)	100 km	
Tovornjak za prevoz betona (tovornjak 40 t)	50,8 t km	50,8 t km
<b>RUŠENJE</b>		
Rušenje		508 kg
<b>UPRAVLJANJE PO UPORABI</b>		
Neuporaben beton	5%	25 kg
Uporaben beton	95%	474 kg
Neuporabna voda	75%	38 l
Uporabna voda	15%	12 l
Neuporabno jeklo	5%	0,5 kg
Uporabno jeklo	95%	8,5 kg
Tovornjak za odvoz na deponijo (tovornjak 28)	25 km	12 t km

## Rezultati analize

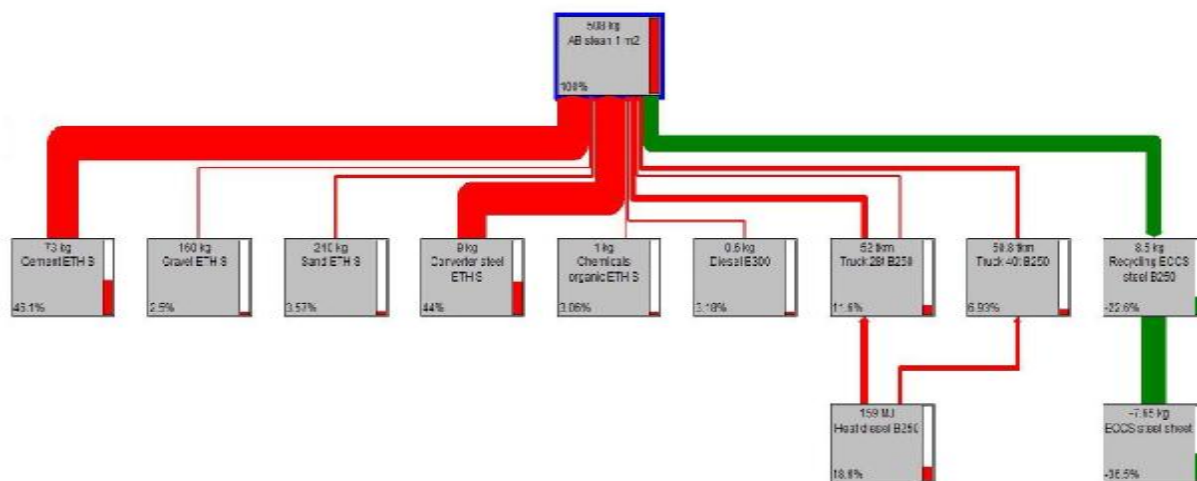
V preglednici 5.3 se nahajajo rezultati analize življenjskega cikla za primer armiranobetonske stene, izdelane na gradbišču. Rezultati so pridobljeni z metodo *CML 2 baseline V2.03*. V preglednici so lepo razvidne količine posameznih snovi, ki vplivajo na določeno vplivno kategorijo. Zelo pomemben je tudi podatek o porabljeni količini energije, saj ta bistveno vpliva na okolje.

Preglednica 5.3: Rezultati (primer masivne stene, izdelane na gradbišču)

Slovenski izraz	Originalni izraz	Količina	Enota
Energija	<i>energy resource</i>	863.6	MJ
Izraba abiotskih virov	<i>abiotic depletion</i>	0.437	kg Sb
Spreminjanje podnebja	<i>global warming (GWP 100)</i>	97.1	kg CO <sub>2</sub>
Tanjšanje stratosferske ozonske plasti	<i>ozone layer depletion (ODP)</i>	2.94E-05	kg CFC <sub>11</sub>
Strupenost za človeka	<i>human toxicity</i>	30.3	kg 1,4-DB
Ekotoksičnost sladke vode	<i>fresh water aquatic ecotox.</i>	4.91	kg 1,4-DB
Ekotoksičnost morske vode	<i>marine aquatic ecotoxicity</i>	2.86E+04	kg 1,4-DB
Ekotoksičnost zemljine	<i>terrestrials ecotoxicity</i>	0.194	kg 1,4-DB
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	<i>photochemical oxidation</i>	0.0206	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>
Zakisovanje tal	<i>acidification</i>	0.408	kg SO <sub>2</sub>
Evtrofikacija	<i>eutrophication</i>	0.0564	kg PO <sub>4</sub>

Poleg tabelaričnega prikaza rezultatov imamo v SimaPro 7 možnost tudi tako imenovanega mrežnega prikaza rezultatov, kar pomeni, da je vsak vpliv prikazan le enkrat. Slika 5.5 nam nudi takšen prikaz. Rdeča barva posameznih povezav predstavlja negativni vpliv na okolje, medtem ko zelena tako imenovani pozitivni vpliv. Ta se pojavi pri recikliranju armature in pomeni, da smo z recikliranjem jekla, pozitivno vplivali na okolje. Debelejša kot je povezava med posameznimi vplivi na sliki, večji vpliv na

okolje predstavlja. Znotraj posameznega pravokotnika, ki predstavlja vpliv pri izdelavi betonske stene, se nahaja še količina te surovine in procentualni vpliv na okolje.



Slika 5.5: Mrežni prikaz rezultatov analize armiranobetonske stene, izdelane na gradbišču

Da lahko določimo ter med seboj primerjamo, kateri proces oziroma osnovni materialni element ima največji vpliv na okolje, izvedemo postopek normalizacije. Program SimaPro 7 poda rezultate, ki so podani v preglednici 5.4.

Preglednica 5.4: Rezultati analize: prispevki po posameznih procesih in materialnih elementih (na gradbišču betonirana armiranobetonska stena)

	Energija	Izraba abiotskih virov	Sprememba podnebja	Strupenost za človeka	Zakisovanje
Cement	41	46	75	32	49
Grobi agregat	3	2	2	1	2
Fini agregat	4	4	2	2	3
Armatura	34	44	19	55	15
Plastifikatorji	5	3	2	3	4
Gorivo	4	3	0	1	1
Prevoz (28 t)	10	9	7	4	16
Prevoz (40 t)	7	7	5	3	12
Rušenje	0	0	0	0	0
Prevoz (28 t)	3	3	2	1	5
Recikliranje vode	0	0	0	0	0
Poraba električne energije	2	2	1	1	1
Recikliranje jekla	-13	-23	-15	-4	-8
Deponiranje nepredelanega betona	0	0	0	0	0
Poraba prečiščene vode	0	0	0	0	0
<b>Skupaj</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Iz rezultatov je opaziti, da je cement v obravnavanem armiranobetonskem proizvodu tisti element, v katerega je vgrajeno največ energije in katerega proizvodnja tvori največ plinov ( $\text{CO}_2$  in  $\text{SO}_2$ ). Delež energije, ki se potroši pri proizvodnji in uporabi cementa, predstavlja 41 % celotne količine porabljene energije tekom življenjske dobe analiziranega proizvoda. Še bolj zaskrbljujoči so podatki o emisijah plinov. Delež emisij  $\text{CO}_2$  (75 %) in  $\text{SO}_2$  (49 %), ki sta vezana na proizvodnjo cementa, sta daleč največja

med vsemi procesi in materialnimi elementi. Poleg cementa gre omeniti tudi betonsko železo oz. armaturo. Poraba energije za to postavko znaša 34 % in predstavlja drugi največji rezultat v tem stolpcu. Ob porabljeni energiji naj omenimo še strupenost za človeka; ta znaša več kot polovico (55 %) toksičnosti na človeka. Vidnejši vpliv na tvorbo žveplovega dioksida imajo še proces prevoza osnovnih materialov v betonarno (16 %), prevoz na gradbišče skupaj (13 %) in izdelava armature (15 %). Zelo zanimivi so rezultati, ki prikazujejo vpliv recikliranja jekla. Recikliranje jekla doprinese največ k zmanjšanju porabe abiotičnih virov, saj tako ni potrebna ponovna izraba osnovnih surovin za pripravo jekla. Zaradi tega so vrednosti v preglednici 5.4, pri predpostavki »recikliranje jekla« negativne. Razvidno je, da je poraba energije pri recikliranju manjša (13 %) kot pri pripravi jekla iz železove rude. Posledično je tudi vpliv na človeka in okolje manjši.

Iz prikazanih rezultatov je razvidno, da je vpliv uporabljenega cementa na okolje izjemno velik, zato mora postati njegova poraba premišljena in dosledna. Na tržišču obstaja več različnih vrst cementa, ki imajo različno sestavo; Vrsta z oznako CEM I vsebuje vsaj 95 % klinkerja in do 5 % polnila, medtem ko vsebuje CEM II vsaj 80 % klinkerja in od 6 do 20 % mineralnih dodatkov (Žarnić, 2003.). Delež klinkerja je pomemben zato, ker ga moramo žgati na visokih temperaturah (preko 1400°C), za kar porabimo velike količine energentov, ki ob svojem izgorevanju tvorijo toplogredne pline (predvsem CO<sub>2</sub>). Za razliko od klinkerja je potrebno polnilo le mleti.

Na osnovi dobljenih rezultatov lahko zaključimo, da je uporaba cementa z manj klinkerja okolju bolj prijazna. Pri tem se moramo zavedati, da ime beton na osnovi cementa z dodatkom polnil pri enakem deležu cementa v betonski mešanici načeloma nižjo trdnost kot beton na osnovi čistega klinkerja. Ekvivalentno trdnost obeh vrst betona lahko dosežemo, če vpeljemo v proizvodnjo betona ustrezne tehnološke ukrepe.

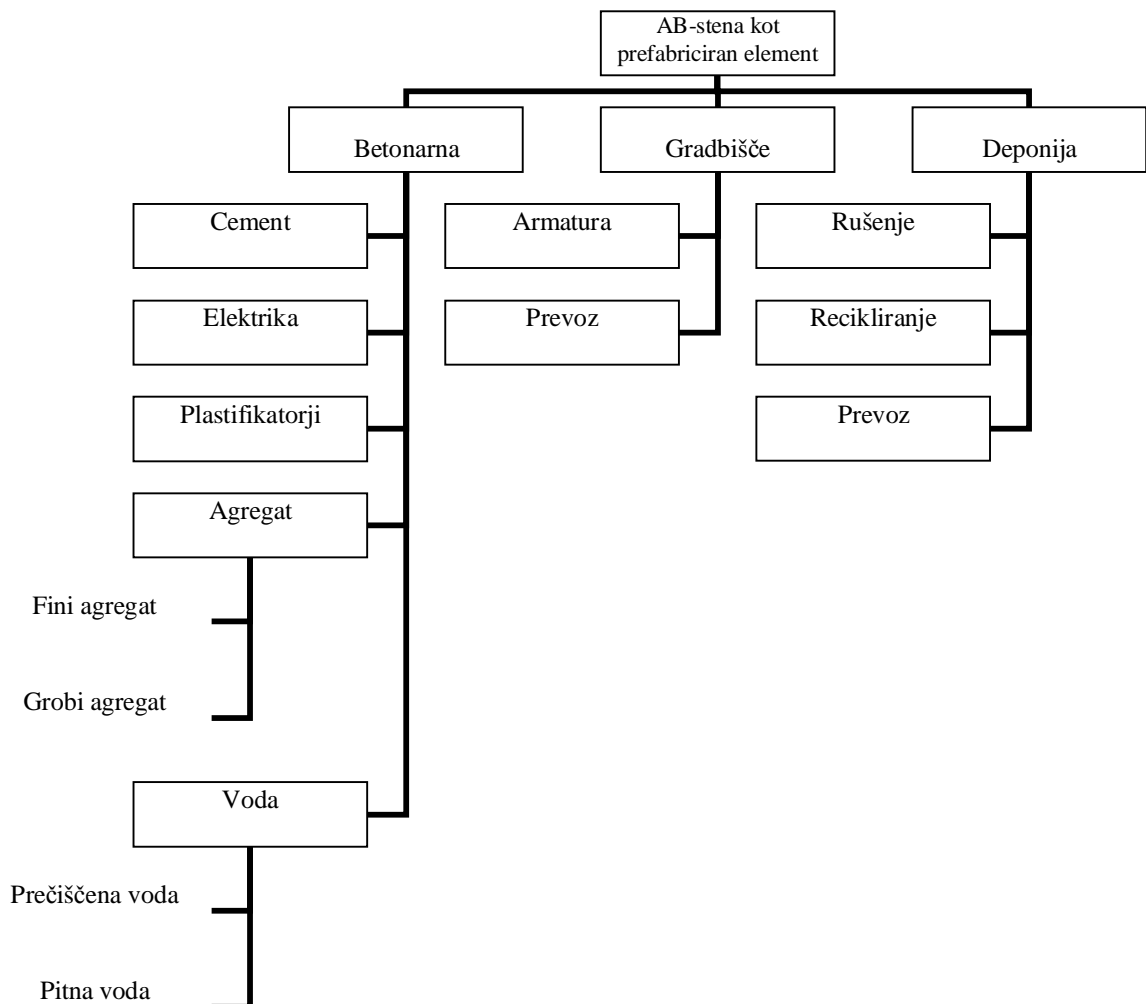
### **5.3.2 Masivna stena kot prefabriciran element**

Kot drugi primer smo z analizo življenjskega cikla obdelali še v tovarniških pogojih proizveden prefabriciran element masivne stene. Inventarni seznam se glede na prejšnji primer ne razlikuje bistveno; razlika se pojavlja le pri predpostavkah, ki se razlikujejo le zaradi tehnologije izdelave takšnega elementa. Za prevozno sredstvo smo prav tako izbrali 28-tonske tovornjake. Podatki o razdaljah med posameznimi

---

proizvodnimi enotami ter podatki o predvidenem koncu življenjske dobe obravnavane stene so enaki kot v razdelku 5.3.1...

Razlike nastopijo pri opisu tehnologije proizvodnje, kjer v primeru prefabricirane stene nismo upoštevali porabe dodatne količine goriva za črpanje in mešanje betona med prevozom. Prav tako nismo upoštevali porabe vode na gradbišču za pranje gradbenega orodja. Za boljšo predstavbo porabljenih vhodnih osnovnih surovin si pogledjmo grafično predstavbo procesov na sliki 5.6.



Slika 5.6: Shematski prikaz snovnih tokov (gibanja surovin in vmesnih proizvodov) v proizvodnji prefabricirane armiranobetonske stene

Preglednica 5.5: Prikaz vhodnih podatkov za primer prefabricirane armiranobetonske stene

<b>FUNKCIONALNA ENOTA</b>	<b>VREDNOST</b>	<b>VREDNOST / m<sup>2</sup></b>
Obravnavana površina	1 m <sup>2</sup>	
Pripadajoča masa betonske mešanice	508 kg	
<b>SESTAVA BETONSKE MEŠANICE</b>		
Cement	365 kg/m <sup>3</sup>	73 kg
Prevoz cementa (tovornjak 28 t)	100 km	
Grobi agregat	800 kg/m <sup>3</sup>	160 kg
Fini agregat	1200 kg/m <sup>3</sup>	240 kg
Prevoz agregata (tovornjak 28 t)	80 km	
Plastifikatorji	3,3 kg/m <sup>3</sup>	1 kg
Prevoz plastifikatorjev (tovornjak 28 t)	250 km	
Rebrasta armatura	45 kg/m <sup>3</sup>	9 kg
Prevoz armature (tovornjak 28 t)	100 km	
Voda za pripravo betona - pitna	63 l/m <sup>3</sup>	13 kg
Voda za pripravo betona - reciklirana	62 l/m <sup>3</sup>	12 kg
Tovornjak za prevoz vode (tovornjak 28 t)	202 t	40 t km
Elektrika za mešanje betona	9,5 kW/m <sup>3</sup>	2 kW
Stroj za rušenje		0,212 m <sup>2</sup>
<b>ŽIVLJENJSKI CIKEL - PROIZVODNJA</b>		
Masivna stena	1	
<b>ŽIVLJENJSKI CIKEL - PREVOZ NA GRADBIŠČE</b>		
Tovornjak za prevoz betona (tovornjak 40 t)	100 km	
Tovornjak za prevoz betona (tovornjak 40 t)	50,8 t km	50,8 t km
<b>RUŠENJE</b>		
Rušenje		508 kg
<b>UPRAVLJANJE PO UPORABI</b>		
Neuporaben beton	5%	25 kg
Uporaben beton	95%	474 kg
Neuporabna voda	75%	13 l
Uporabna voda	15%	12 l
Neuporabno jeklo	5%	0,5 kg
Uporabno jeklo	95%	8,5 kg
Tovornjak za odvoz na deponijo (tovornjak 28)	25 km	12 t km



## Rezultati analize prefabriciranega elementa

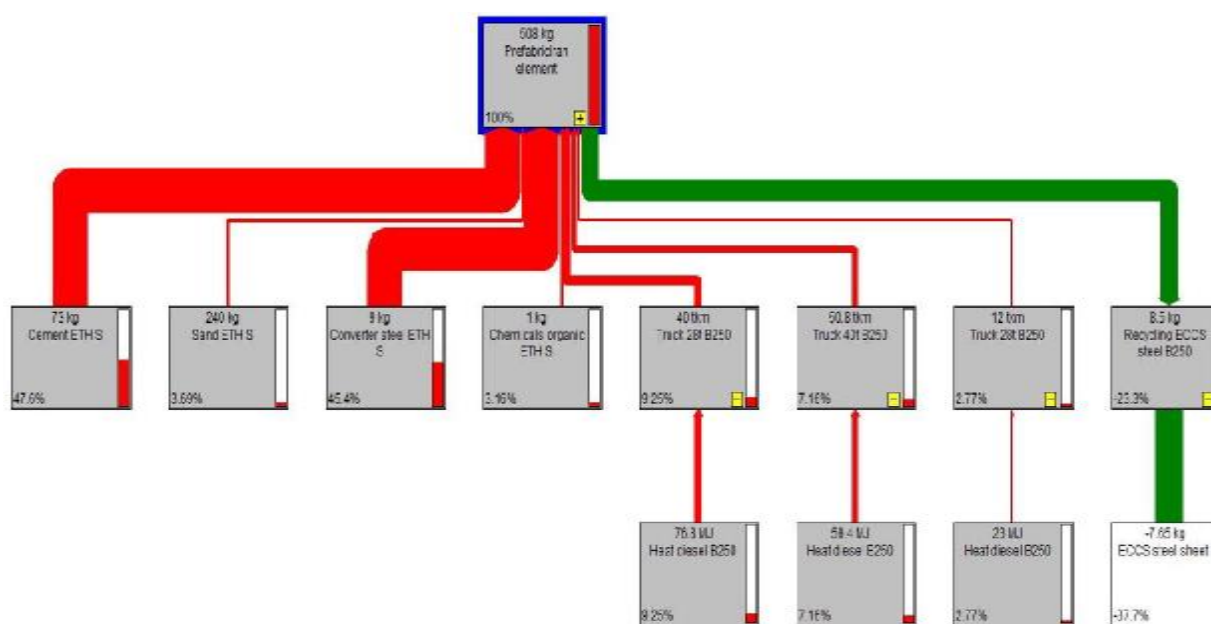
Po končani analizi nam program poda rezultate, ki so prikazani v preglednici 5.6; pri čemer je energija izražena v MJ, ostale snovi pa v kg. Rezultati kažejo, da se pri proizvodnji betonske stene sprosti količina CO<sub>2</sub>, ki ustreza približno petini celotne mase stene.. Ostalega agresivnega plina SO<sub>2</sub> nastane dosti manj in zanaša 0.405 kg.

Preglednica 5.6: Prikaz rezultatov za primer prefabricirane armiranobetonske stene

Slovenski izraz:	Originalni izraz:	Količina:	Enota:
Energija	<i>energy resource</i>	830	MJ
Izraba abiotskih virov	<i>abiotic depletion</i>	0.423	kg Sb
Spreminjanje podnebja	<i>global warming (GWP 100)</i>	96.8	kg CO <sub>2</sub>
Tanjšanje stratosferske ozonske plasti	<i>ozone layer depletion (ODP)</i>	2.75E-05	kg CFC <sub>11</sub>
Strupenost za človeka	<i>human toxicity</i>	30.1	kg 1,4-DB
Ekotoksičnost sladke vode	<i>fresh water aquatic ecotox.</i>	4.89	kg 1,4-DB
Ekotoksičnost morske vode	<i>marine aquatic ecotoxicity</i>	2.85E+04	kg 1,4-DB
Ekotoksičnost zemljine	<i>terrestrials ecotoxity</i>	0.193	kg 1,4-DB
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	<i>photochemical oxidation</i>	0.0205	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>
Zakisovanje tal	<i>acidification</i>	0.405	kg SO <sub>2</sub>
Evtrofikacija	<i>eutrophication</i>	0.0561	kg PO <sub>4</sub>

Slika 5.7 prikazuje posamezne procese in osnovne materialne elemente. Po debelini črte, ki povezuje procese in elemente s prefabricirano steno in ki je premosorazmerna emitirane količini, opazimo, da na okolje najbolj vpliva uporaba cementa. Poleg cementa ima zelo velik vpliv na okolje še uporaba armature, medtem ko so vplivi ostalih procesov ali osnovnih materialnih elementov dosti manjši. Z zeleno barvo je

označen t.i. pozitivni učinek na okolje. Ta povezuje recikliranje jekla, kar pomeni, da smo z recikliranjem jekla, uporabljenega za izdelavo armiranobetonske stene, pozitivno vplivali na okolje.



Slika 5.7: Prikaz mrežne strukture za prefabricirano armirano betonsko steno

Preglednica 5.7: Prefabricirana stena podroben-pregled prispevkov posameznih procesov in materialov k vplivu na okolje

	Energija	Izraba abiotskih virov	Sprememba podnebja	Strupenost za človeka	Zakisovanje
Cement	43	48	75	33	50
Grobi agregat	3	3	2	1	2
Fini agregat	4	4	2	2	3
Armatura	35	45	19	56	15
Plastifikatorji	5	3	2	3	4
Prevoz (28 t)	10	9	7	4	16
Prevoz (40 t)	8	7	5	3	12
Rušenje	0	0	0	0	0
Prevoz (28 t)	3	3	2	1	5
Recikliranje vode	0	0	0	0	0
Poraba električne energije	2	2	1	1	1
Recikliranje jekla	-14	-23	-15	-4	-8
Deponiranje nepredelanega betona	0	0	0	0	0
Poraba prečiščene vode	0	0	0	0	0
Skupaj	100	100	100	100	100

V preglednici 5.7 so prikazani deleži vplivov na okolje posameznih procesov ali osnovnih materialnih elementov. Kot zelo pomemben podatek gre omeniti porabo energije. Ta pri izdelavi cementa znaša 43 %, kar je skoraj polovica celotne energije, ki smo jo porabili pri izdelavi prefabricirane stene. Poleg stene zahteva veliko energije še priprava armature, ki je s 34 % drugi največji porabnik. Ta dva elementa pa nista v ospredju le pri porabi energije, temveč so s tem povezani tudi izraba abiotskih virov, spremembe podnebja, strupenost za človeka in zakisovanje.

### 5.3.2.1 Primerjava rezultatov med armiranobetonsko steno, izdelano na gradbišču in prefabricirano armiranobetonsko steno

Eden glavnih namenov uporabe analize življenjskega cikla je, da se na njeni osnovi odločimo za tisto tehnologijo, ki je okoljsko najbolj sprejemljiva. Zato bomo v nadaljevanju primerjali rezultate predhodnih poglavij. Ob tem je pomembno, da se zavedamo, da gre za proizvoda z enakimi mehanskimi in ostalimi lastnostmi. Primerjalna analiza je predstavljena v preglednici 5.8.

Preglednica 5.8: Primerjava rezultatov med analiziranimi primeroma armiranobetonske stene, izdelane na gradbišču, in prefabricirane armiranobetonske stene

	AB stena izdelana na gradbišču	Prefabricirana betonska stena	
Slovenski izraz	Količina	Količina	Enota
Energija	863.6	830	MJ
Izraba abiotskih virov	0.437	0.423	kg Sb
Podnebna sprememba	97.1	96.8	kg CO <sub>2</sub>
Tanjšanje stratosferske ozonske plasti	2.94E-05	2.75E-05	kg CFC <sub>11</sub>
Strupenost za človeka	30.3	30.1	kg 1,4-DB
Ekotoksičnost sladke vode	4.91	4.89	kg 1,4-DB
Ekotoksičnost morske vode	2.86E+04	2.85E+04	kg 1,4-DB
Ekotoksičnost zemljine	0.194	0.193	kg 1,4-DB
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	0.0206	0.0205	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>
Zakisovanje tal	0.408	0.405	kg SO <sub>2</sub>
Evtrofikacija	0.0564	0.0561	kg PO <sub>4</sub>

Opazimo lahko, da je vpliv na okolje manjši v primeru prefabricirane armiranobetonske stene, prav pri vseh primerjavah. Poraba energije je manjša za 33,6 MJ (oz. skoraj 4 %), medtem ko je razlika med količinami nastalih toplogrednih plinov minimalna (0,3 kg CO<sub>2</sub>). Izraba abiotskih virov pa se v primeru uporabe montažnih postopkov zmanjša za 0,014 kg Sb-ja, kar je 3,2 %.

Nastale razlike so posledica manjše porabe goriva za prevoz na gradbišče že izdelane betonske stene v primerjavi s prevozom samega betona. Poleg tega pa nastajajo razlike še zaradi količine vode, ki je na gradbišču porabimo več in jo spuščamo neposredno v tla. V študiji zaradi prekompleksnosti modela nismo zajeli še hrupa, ki nastaja na gradbiščih, in prašnih delcev, ki jih z uporabo materialov fine granulacije spuščamo v okolje.

Čeprav so razlike na prvi pogled majhne, se moramo zavedati, da je analiza izvedena za  $1\text{m}^2$  armiranobetonske stene. V primeru, da bi analizirali celotno stavbo ali kakšen inženirski objekt, ki vsebuje nekaj več tisoč kubičnih metrov betona in ustrezno količino armature, bi bili tudi rezultati bistveno različnejši. Na osnovi prikazane primerjave tako pridemo do spoznanja, da lahko izbira načina gradnje občutno doprinese k varovanju okolja.

### **5.3.2.2 Primerjava naših rezultatov z rezultati programske opreme Eco-concrete**

Zaradi primerjave računalniških programov SimaPro 7, ki smo ga uporabljali v našem diplomskem delu, in EcoConcrete, ki ga je uporabljal Matelič, si pogledjmo primerjavo rezultatov, ki nam jih programa ponujata za enakovreden primer. Da lahko primerjamo rezultate, je bilo potrebno izbrati vhodne surovine in samo količino teh surovin v enakem obsegu, kot jih je uporabil Matelič.

EcoConcrete je računalniški program za analizo vpliva konstrukcijskih sklopov na okolje. V svoji bazi ima deset različnih armiranobetonskih konstrukcijskih elementov ter tri LCA-metode. Program vsebuje v naprej prevzete lastnosti za deset konstrukcijskih elementov, med katerimi je tudi element nosilne stene. Program omogoča, da izbrani konstrukcijski sklop definiramo glede na zelene potrebe, zato so na voljo štiri podatkovne liste, kjer lahko definiramo naslednje lastnosti: (Matelič, 2006.)

- vrsto konstrukcijskega elementa
- dimenzije elementa,
- načrtovano življenjsko dobo
- materialno sestavo elementa (granulacijsko sestavo, vrsto in količino cementa, količino vode in dodatkov ter vrsto in količino armature)
- pogoje življenjskega cikla (določimo stopnjo recikliranja betona in armature)
- ravnanje z izdelkom po koncu življenjske dobe (način ravnanja z izdelkom po uporabi)

Glede na omenjene zmožnosti programa EcoConcrete smo oblikovali tudi naš model. Primerjavo rezultatov preikazujemo v preglednici 5.9.

Preglednica 5.9: Primerjava rezultatov obravnavanega primera z Mateličevim primerom

	AB stena izdelana na gradbišču	Mateličevi rezultati za primer AB stene	
Slovenski izraz	Količina	<i>Količina</i>	Enota
Energija	863.6	<i>945,33</i>	MJ
Izraba abiotskih virov	0.437	<i>4,605</i>	kg Sb
Spreminjanje podnebja	97.1	<i>96,822</i>	kg CO <sub>2</sub>
Tanjšanje stratosferske ozonske plasti	2.94E-05	<i>0,000</i>	kg CFC <sub>11</sub>
Strupenost za človeka	30.3	<i>12,321</i>	kg 1,4-DB
Ekotoksičnost sladke vode	4.91	<i>1,422</i>	kg 1,4-DB
Ekotoksičnost morske vode	2.86E+04	<i>2,349</i>	kg 1,4-DB
Ekotoksičnost zemljine	0.194	<i>0,128</i>	kg 1,4-DB
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	0.0206	<i>0,019</i>	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>
Zakisovanje tal	0.408	<i>0,361</i>	kg SO <sub>2</sub>
Evtrofikacija	0.0564	<i>0.074</i>	kg PO <sub>4</sub>

V preglednici 5.9 se poleg naših rezultatov nahajajo še rezultati Mateličevega primera. Razlik med rezultati praktično ni, saj se le ta se pojavi le pri količini porabljene energije in količini izrabe abiotskih virov. Razlika v količini energije znaša 81,73 MJ, kar pomeni 8,6 % od celotne porabljene energije. V

primeru izrabe abiotskih virov pa se pojavi razlika v velikosti 4,17 kg Sb (90,51 %). Razliko gre pripisati malo drugačni zasnovi modela, pri čemer je v našem primeru uporabljena tehnologija, ki zahteva nekoliko več energije. Razlika v porabi abiotskih virov se pojavi na račun večje porabe vode in goriva. Ostale razlike so zanemarljive.

Na osnovi teh rezultatov lahko sklepamo, da je model pravilno zastavljen, saj se med predhodnimi in sedanjimi rezultati ne pojavljajo bistvene razlike. Obenem so predstavljeni rezultati analiz dokaz, da sta si programa enakovredna pri izvajanju analize. Uporabniku tako izbiro programa za analizo življenjskega cikla proizvoda narekuje dostopnost programa oziroma finančna plat. Nekoliko prednosti gre pripisati programu SimaPro 7, ki ga oblikuje večja baza podatkov, kar pomeni, da lahko oblikujemo poljubno zahtevne modele za analizo življenjskega cikla. To pa po drugi strani pomeni več časa in podatkov za oblikovanje modela.

## 6 ZAKLJUČEK

V današnjem svetu predstavljajo za človeštvo eno največjih dolgoročnih nevarnosti ekstremne spremembe v naravi, ki so posledica človekovih dejavnosti. V ozračje spuščamo ogromne količine toplogrednih in ostalih škodljivih plinov, ki nastajajo zaradi želje velikih gospodarskih družb po čim večjih dobičkih in s tem posledično manjšim vložkom v varovanje okolja. Narava se na to odziva s segrevanjem ozračja in s tem taljenjem ledenikov in ledu v polarnem območju, preobsežne padavine pa na drugi strani terjajo skoraj vsakodnevno po več sto življenj. Zaradi krčenja gozdov v tropskih gozdovih se pojavljajo velika sušna obdobja v Afriki in Južni Ameriki. Posledica je pomanjkanje hrane in pitne vode za ljudi, ki živijo na teh območjih. Opisani odzivi narave so nas spodbudili k vse večjemu zavedanju o pomenu vsake odločitve posameznika v družbi.

V ta namen se je na nivoju proizvodnih procesov in pripadajočih proizvodov izkazala kot učinkovita v praksi analiza življenjskega cikla. Ta metoda je namenjena proučevanju vplivov na okolje skozi celoten življenjski cikel izbranega proizvoda. Prednost te metode pred ostalimi je ravno v tem, da spremlja proizvod skozi njegovo celotno življenjsko obdobje, to je »od zibelke do groba« oz. od pridobivanja osnovnih materialov iz zemeljske skorje do izteka življenjske dobe proizvoda .

V diplomskem delu smo s pomočjo računalniškega programa SimaPro 7 analizirali primer armiranobetonske stene, ki jo izdelamo z različnimi tehnologijami; prvič upoštevamo na gradbišču betonirano steno, drugič pa prefabricirano armiranobetonsko steno. Računalniški program SimaPro 7 se je v teh primerih in nasploh izkazal kot zelo učinkovito orodje za izvajanje analize življenjskega cikla. Odlikuje ga enostavna uporaba ter izredno široka baza podatkov, ki je sestavljena iz podatkov različnih inštitucij iz različnih geografskih prostorov. Končen rezultat analize je popoln pregled vplivov obravnavanih elementov na okolje. Prikazani so vsi procesi, od izkopa surovin, preko uporabe in vzdrževanja pa vse do upravljanja z izdelkom po uporabi. Poleg izračuna o emisijah v vodo, tla in zrak, ki se posredno kažejo kot onesnaževanje okolja, sta še zelo pomembna izhodna parametra, ki ju tudi prikaže program, porabljena količina energije in surovin. Ta dva podatka sta zelo pomembna, saj njuna optimalna poraba močno prispeva k varčevanju.

S pomočjo primerov, ki smo jih povzeli iz literature, in primera betonske stene, ki smo jo analizirali s programom SimaPro 7, pridemo do ugotovitev, da lahko že sam način gradnje, razlika med



prefabriciranim elementom in elementom, izdelanim na gradbišču, precej vpliva na rezultate analize vpliva na okolje. Pri tem ne smemo pozabiti, da gre za elementa enakih mehanskih, termomehanskih ter ostalih lastnosti.

Na podlagi teh ugotovitev in načel trajnostnega razvoja, ki so v današnjem času glavna skrb raznih političnih organizacij, nas rezultati privedejo do ugotovitev, da je presoja o izdelku ali objektu vplivov na okolje poleg ekonomske presoje pomemben dejavnik pri sprejemanju odločitev o izbiri osnovnih materialov in polproizvodov ter tehnologije gradnje. Želimo si, da bi to postala stalna praksa, vsaj v primerih, ko gre za objekte in infrastrukturo, ki se financirajo iz javnih sredstev.

## VIRI

### *Uporabljeni viri*

Environmental Protection Agency.

<http://www.epa.gov/> (4.11.2006).

Internacional Standard Organization.

<http://www.iso.org> (12.11.2006).

European Environmental Agency.

<http://www.eea.europa.eu> (15.11.2006).

ISO 14040, 1997. Environmental management – Life cycle assessment – Principle and frame work. 11 str.

ISO 14041, 1998. Environmental management – Life cycle assessment – Goal and scope definition and inventory analysis. 21 str.

ISO 14042, 2000. Environmental management – Life cycle assessment – Life cycle impact assessment. 15 str.

ISO 14043, 2000. Environmental management – Life cycle assessment – Life cycle interpretation. 18 str.

Geodkoop M., Oele M. 2006. Introduction to LCA with SimPro 7. ž

<http://www.pre.nl> (15.11.2006).

Environmental issues in prefabrication, 2006, FIB Bulletin. 28 str.

Lipušček, I. 2004. Vrednotenje življenjskih ciklov lesnoindustrijskih izdelkov z vidika obremenjevanja okolja. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo. 188 str.

Myers, D. 2006. Construction economic a new approach. London, Span. 215 str.

Matelič G. 2006. Metoda analize življenjskega cikla (LCA) kot metoda za odločanje v gradbeni proizvodnji. Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. 110 str.

Žarnić, R. 2003. Lastnosti gradiv. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za preizkušanje materialov in konstrukcij. 350 str.

## ***Ostali viri***

Agencija republike Slovenije za standardizacijo.

<http://www.arso.si> (12.1.2007).

Ecoconcrete. The construction of cement and concrete to a more sustainable built environment. 2001, Crowthorne, British Cement Association, 278 str.,.

Grošelj, E. 2004. Naložba v trajnostni razvoj kot konkurenčna prednost podjetja. Diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Ekonomska fakulteta. 40 str.

Lipušček, I., Oblak, L., Zadnik, L. 2006. Oblikovanje ekološkega informacijskega sistema in določanje ekološke kakovosti izdelkov lesnoindustrijskih dejavnosti. Strokovni članek. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo. 8 str.

Slovenski inštitut za standardizacijo.

<http://www.sist.si> (7.12. 2006).

Straatman, S., Remco, A., 2000. Environmental Related Issues in Precast Demountable Construction.  
Delft University of Tehnology, Faculty of Civil Engineering.

Svetovna banka.

<http://www.worldbank.org> (28.11.2006).

Železnikar, Š. 2006. Primer ravnanja z okoljem na finančno uspešnost podjetij – primerjalna analiza dveh podjetij. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Ekonomska fakulteta. 51 str.