

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,
Organizacijsko tehnološka smer

Kandidat:

Gašper Matelič

Metoda analize življenjskega cikla (LCA) kot metoda za odločanje v gradbeni proizvodnji

Diplomska naloga št.: 2862

Mentor:
izr. prof. dr. Jana Šelih

Ljubljana, 20. 1. 2006

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorici doc. dr. Jani Šelih za vsestransko pomoč pri nastajanju diplomske naloge. Zahvaljujem se tudi staršem za finančno in moralno podporo ter dolgoletno potrpežljivost. Zahvaljujem se Tini za njeno potrpežljivost in vzpodbudo.

UDK: 504:69.059.4
Avtor: Gašper Matelič
Mentor: Doc. dr. Jana Šelih
Naslov: Metoda analize življenjskega cikla (LCA) kot metoda za odločanje v gradbeni proizvodnji
Obseg in oprema: 110 str. 18 pregl., 49 sl.
Ključne besede: analiza življenjskega cikla, okolje, gradbena proizvodnja, armiran beton, ravnanje z okoljem , parametrična študija

Izvleček

Širjenje okoljevarstvene zavesti je privedlo številne organizacije k snovanju metod, ki bi ugotovljale vpliv izdelkov na okolje. Najbolj uporabljena in uveljavljena je metoda analize življenjskega cikla (LCA), ki analizira vpliv izbranega izdelka na okolje v vseh življenjskih fazah: proizvodnji, uporabi in odstranitvi. Tudi gradbena podjetja sledijo trendu varovanja okolja in uvajajo v svojo proizvodnjo koncept trajnostnega razvoja, še zlasti v obliki uvajanja sistemov ravnanja z okoljem in uporabe analize življenjskega cikla pri odločanju o izboru tehnologije in vhodnih surovin. Na drugi strani je okoljsko vse bolj osveščen tudi investitor, še zlasti, če gre za porabnika javnih sredstev. Le-ta lahko uporablja kot enega od kriterijev pri ocenjevanju ponudb za željen gradben objekt tudi celostne okoljske vidike proizvodnje, uporabe in odstranitve objekta.

Diplomsko delo obravnava metodo analize življenjskega cikla (LCA) ter ugotavlja, kakšna je njena uporabnost v gradbeništvu. Dela na kratko predstavlja zgodovino nastajanja metode in njen razvoj, opisuje njene sestavne dele, osnove, načela, omejitve in navodila za potek študije. Nadalje so v delu povzeta splošna načela in pravila za vodenje študije LCA, kot jih podajajo standardi ISO 14040, 14041, 14042 in 14043. Naloga povzema nekaj primerov uporabe metode v gradbeništvu, ki so opisani v razpoložljivi literaturi. V zadnjem delu predstavljamo parametrično študijo LCA dveh armiranobetonskih konstrukcijskih sklopov. Dobljeni rezultati kažejo, da je metoda analize življenjskega cikla (LCA) zelo uporabna metoda za ocenjevanje in vrednotenje okoljskih vplivov, ki se pojavljajo med proizvodnjo, uporabo in odstranitvijo gradbenih proizvodov oziroma objektov, ter da ima v analiziranih primerih na okoljske vidike največji vpliv izbira uporabljenih materialov in način ravnanja z izdelkom po uporabi.

UDK: 504:69.059.4
Author: Gašper Matelič
Supervisor: Assist. Prof. Jana Šelih
Title: Life Cycle Analysis (LCA) as a decision method in construction
Notes: 110 pg. 18 tab., 49 fig.
Key words: life cycle analysis, environment, construction, reinforced concrete, environmental management, parametric study

Abstract

Due to increasing environmental consciousness worldwide, several organizations began to develop methods for the determination of environmental impacts of products. Today, the most established method in this field is life cycle analysis (LCA), which analyses the influence of the product under consideration in all life stages: production, use and disposal. Construction companies follow the principles of sustainable development and introduce environmental management systems and use of LCA as a decision method used to select the type of technology and raw materials employed in construction. On the other hand, in the process of evaluation of the received offers, the owner can use comprehensive assessment of environmental impacts of the structure during its entire life cycle as one of the selection criteria.

The aim of this thesis is to assess the applicability of LCA in civil engineering. The history and development of LCA is briefly presented along with its general principles, fundamentals, limitations and instructions for use. International standards for the LCA, ISO 14040, ISO 14041, ISO 14042 in ISO 14043, are summarized. Further, the thesis presents selected case studies from the field of civil engineering as reported in the literature. A parametric study of two reinforced concrete elements was carried out. The results obtained show that LCA is a useful method for the assessment of environmental impacts that appear during production, use and disposal of structures and construction products. For the cases analysed, the largest environmental impact is caused by the selection of input raw materials and end-of-life scenario.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
1.1	Izboljšanje LCA	2
1.2	Namen naloge in pregled vsebine	3
2	ANALIZA ŽIVLJENJSKEGA CIKLA (LCA)	5
2.1	Kaj je analiza življenjskega cikla	5
2.1.1	Prednosti uporabe LCA	7
2.1.2	Omejitve pri uporabi LCA	8
2.2	Oprelitev cilja in obsega študije	8
2.2.1	Vpliv opredelitve cilja in obsega študije na potek LCA	8
2.3	Inventar življenjskega cikla (LCI)	13
2.3.1	Ključni koraki inventarja življenjskega cikla	14
2.4	Vrednotenje vplivov (LCIA)	19
2.4.1	Ključni koraki v ocenjevanju vplivov življenjskega cikla (LCIA)	20
2.5	Interpretacija življenjskega cikla	27
2.5.1	Ključni koraki pri interpretaciji rezultatov LCA	28
2.5.2	Poročanje rezultatov	32
3	POVZETEK STANDARDOV ZA LCA	34
3.1	Standard ISO 14040:1997, Ravnanje z okoljem – Ocenjevanje življenjskega cikla	
–	Načela in okviri	34
3.1.1	Obseg in področje uporabe	35
3.1.2	Splošni opis LCA	35
3.1.2.1	Ključni pojmi LCA	35
3.1.2.2	Faze LCA	35
3.1.3	Metodologija	36
3.1.3.1	Definicija cilja in obsega študije	36
3.1.3.2	Analiza inventarja življenjskega cikla	38
3.1.3.3	Vrednotenje vplivov življenjskega cikla	38
3.1.3.4	Interpretacija življenjskega cikla	38
3.1.4	Poročanje	38
3.1.5	Kritična presoja	39
3.1.5.1	Splošni opis kritične presoje	39
3.1.5.2	Potreba po kritični presoji	40
3.1.5.3	Proces kritične presoje	40
3.2	Standard ISO 14041:1998, Ravnanje z okoljem – Ocenjevanje življenjskega cikla	
–	Oprelitev cilja in obsega ter inventarizacija	41
3.2.1	Obseg in področje uporabe	41
3.2.2	Sestava LCI	42
3.2.2.1	Sistemi izdelkov	42
3.2.2.2	Procesna enota	42
3.2.2.3	Vrste podatkov	43
3.2.3	Definiranje cilja in obsega študije	43
3.2.4	Analiza inventarja	45
3.2.4.1	Splošno	45
3.2.4.2	Zbiranje podatkov	45

3.2.4.3	Računski postopki	45
3.2.4.4	Razporeditev pretokov in izpustov	46
3.2.5	Omejitve LCI (pri interpretaciji rezultatov).....	47
3.2.6	Poročilo študije	47
3.3	Standard ISO 14042:2000, Ravnanje z okoljem – Ocenjevanje življenjskega cikla – Ovrednotenje vplivov na okolje (LCIA).....	47
3.3.1	Obseg in področje uporabe.....	48
3.3.2	Osnovni opis LCIA	48
3.3.2.1	Ključni pojmi LCIA	48
3.3.2.2	Elementi LCIA	48
3.3.3	Obvezni sestavni deli	49
3.3.3.1	Dodeljevanje rezultatov LCI (klasifikacija).....	50
3.3.3.2	Izračun kazalnikov vplivov (karakterizacija).....	50
3.3.4	Izbirni sestavni deli.....	51
3.3.4.1	Izračun pomenov indikatorjev vplivov (normalizacija)	51
3.3.4.2	Razvrstitev.....	51
3.3.4.3	Ponderiranje	51
3.3.5	Analiza podatkov	51
3.3.6	Omejitve LCIA	52
3.3.7	Poročanje rezultatov in kritična presoja	52
3.3.7.1	Poročanje rezultatov LCIA.....	52
3.4	Standard ISO 14043:2000, Ravnanje z okoljem – Ocenjevanje življenjskega cikla – Predstavitev rezultatov analize življenjskega cikla	52
3.4.1	Obseg in področje uporabe.....	53
3.4.2	Osnovni opis interpretacije življenjskega cikla	53
3.4.2.1	Ključni pojmi interpretacije življenjskega cikla	53
3.4.2.2	Sestava faze interpretacije	53
3.4.3	Identificiranje pomembnih vsebin	53
3.4.3.1	Določanje pomembnih vsebin.....	54
3.4.4	Določitev vrednosti	54
3.4.4.1	Kontrola popolnosti.....	55
3.4.4.2	Kontrola občutljivosti	55
3.4.4.3	Kontrola skladnosti	55
3.4.5	Sprejemanje sklepov in priporočil	55
3.4.6	Poročanje.....	55
4	UPORABA LCA V GRADBENIŠTVU	56
4.1	Uporaba LCA pri gradnji cest	57
4.1.1	Opis primera uporabe LCA pri gradnji cest	57
4.1.2	Privzete vrednosti	58
4.1.3	Ugotovitve porabe energije pri gradnji cest.....	58
4.2	Uporaba LCA za primerjavo izolacijskih materialov.....	60
4.3	Uporaba LCA za ugotavljanje prednosti gradnje zaprtega cikla AB konstrukcij	63
4.4	Povezovanje LCA in stroškovne analize življenjskega cikla (LCC, Life Cycle Cost Analysis)	65
5	PRIMER: ANALIZA VPLIVA PROIZVODNJE KONSTRUKCIJSKIH SKLOPOV NA OKOLJE.....	67

5.1 Opis programa EcoConcrete	67
5.1.1 Vsebina programa	69
5.1.2 Metodologije za ocenitev vpliva na okolje	71
5.1.3 Metodologija v programu EcoConcrete	73
5.1.4 Koncept funkcionalne enote	73
5.2 Analiza konstrukcijskih elementov medetažne plošče in masivne stene	74
5.2.1 Masivna stena	75
5.2.1.1 Izhodiščni primer	75
5.2.1.2 Parametrična analiza	81
5.2.2 Medetažna armiranobetonska plošča	91
5.2.2.1 Izhodiščni primer	91
5.2.2.2 Parametrična analiza	96
5.2.3 Ugotovitve parametričnih analiz	104
6 ZAKLJUČKI	107
VIRI	109
Uporabljeni viri	109
Ostali viri	110

KAZALO SLIK

Slika 2.1: Tipične faze življenjskega cikla proizvoda	5
Slika 2.2: Sestava analize življenjskega cikla.....	6
Slika 2.3: Primer življenjskega cikla proizvoda	11
Slika 2.4: Prikaz vhodnih/izhodnih procesnih enot v življenjskem ciklu.....	15
Slika 2.5: Povezava med fazo interpretacije in ostalimi fazami LCA	29
Slika 3.1: Faze analize življenjskega cikla	36
Slika 3.2: Sistem izdelka v analizi inventarja življenjskega cikla.....	42
Slika 3.3: Primer povezave procesnih enot znotraj sistema izdelka.....	43
Slika 3.4: Poenostavljena procedura inventarizacije.....	45
Slika 3.5: Sestavni deli faze vrednotenja vplivov življenjskega cikla.....	49
Slika 3.6: Medsebojni odnosi med elementi faze interpretacije in ostalimi fazami študije LCA	54
Slika 4.1: Tipične faze življenjskega cikla gradbenih proizvodov.....	56
Slika 4.2: Prikaz rezultatov porabe energije pri različnih izvedbah ceste.....	59
Slika 4.3: Primerjava rezultatov med standardnim pristopom upravljanja z odpadki in pristopom zaprtega cikla gradnje.....	63
Slika 4.4: Primerjava rezultatov med standardnim pristopom upravljanja z odpadki in pristopom zaključenega cikla gradnje (enaka količina gorljivih snovi).....	64
Slika 5.1: Obdelava podatkov v programu EcoConcrete	68
Slika 5.2: Izbira primera iz programa EcoConcrete.....	69
Slika 5.3: Grafični prikaz rezultatov v programu EcoConcrete.....	71
Slika 5.4: Pretok energije in materialov.....	72
Slika 5.5a: Obdelava parametrov.....	72
Slika 5.5b: Obdelava parametrov.....	73
Slika 5.6a: Rezultati analize masivne stene (izhodiščni primer)	78
Slika 5.6b: Rezultati analize masivne stene (izhodiščni primer)	78
Slika 5.7: Vpliv spreminjanja oddaljenosti gradbišča na okoljske indikatorje (armiranobetonska stena).....	82
Slika 5.8a: Vpliv spreminjanja oddaljenosti gradbišča na porabo energije in izhajanje CO ₂ (armiranobetonska stena).....	82
Slika 5.8b: Vpliv spreminjanja oddaljenosti gradbišča na oddajanje škodljivih snovi v tla, vodo in zrak (armiranobetonska stena)	83
Slika 5.9: Vpliv različnih ravnanj z objektom po uporabi (armiranobetonska stena)	84
Slika 5.10a: Vpliv različnih načinov ravnanja z objektom po uporabi na porabo energije in izhajanje CO ₂ (armiranobetonska stena)	84
Slika 5.10b: Vpliv različnih načinov ravnanja z objektom po uporabi na oddajanje škodljivih snovi v tla, vodo in zrak (armiranobetonska stena)	85
Slika 5.11: : Vpliv različnih stopenj recikliranja materiala na količino generiranih odpadkov in evtrofikacijo (armiranobetonska stena)	86
Slika 5.12a: Vpliv različnih stopenj recikliranja materiala na oddajanje škodljivih snovi v tla, vodo in zrak (armiranobetonska stena)	87
Slika 5.12b: Vpliv različnih stopenj recikliranja materiala na oddajanje škodljivih snovi v tla, vodo in zrak (armiranobetonska stena)	87
Slika 5.13: Razmerje vplivov ob uporabi različnih sestav betonske mešanice.....	89

Slika 5.14a: Vpliv uporabe različnih sestav betonske mešanice na porabo energije in oddajanje CO ₂	89
Slika 5.14b: Vpliv uporabe različnih sestav betonske mešanice na oddajanje škodljivih snovi v tla, vodo in zrak.....	90
Slika 5.15a: Rezultati analize medetažne plošče (izhodiščni primer).....	94
Slika 5.15b: Rezultati analize medetažne plošče (izhodiščni primer).....	94
Slika 5.16: Vpliv spreminjanja stopnje recikliranja na okoljske indikatorje (medetažna AB plošča).....	96
Slika 5.17a: Vpliv spreminjanja stopnje recikliranja na oddajanje škodljivih snovi v tla, vodo in zrak (medetažna AB plošča).....	97
Slika 5.17b: Vpliv spreminjanja stopnje recikliranja na oddajanje škodljivih snovi v tla, vodo in zrak (medetažna AB plošča).....	97
Slika 5.18: Vpliv spreminjanja oddaljenosti gradbišča na okoljske indikatorje (medetažna AB plošča).....	98
Slika 5.19a: Vpliv spreminjanja oddaljenosti gradbišča na porabo energije in izhajanje CO ₂ (medetažna AB plošča).....	99
Slika 5.19b: Vpliv spreminjanja oddaljenosti gradbišča na oddajanje škodljivih snovi v tla, vodo in zrak (medetažna AB plošča).....	99
Slika 5.20: Vpliv spreminjanja različnega ravnanja z objektom po uporabi na okoljske indikatorje.....	100
Slika 5.21a: Vpliv spreminjanja različnega ravnanja z objektom po uporabi na porabo energije in izhajanje CO ₂	101
Slika 5.21b: Vpliv spreminjanja različnega ravnanja z objektom po uporabi na oddajanje škodljivih emisij v vodo, zrak in tla.....	101
Slika 5.22a: Vpliv uporabe različnih sestav na porabo energije in izhajanje CO ₂ (medetažna AB plošča).....	103
Slika 5.23: Vpliv uporabe različnih sestav na okoljske indikatorje (medetažna AB plošča). 104	

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 2.1: Splošno uporabljene kategorije vplivov	22
Preglednica 2.2: Podatki za primer segrevanja ozračja	24
Preglednica 2.3: Pregled rezultatov za primer segrevanja.....	24
Preglednica 2.4: Primer kontrolne liste in potencialnih neskladnosti	31
Preglednica 4.1: Pregled vgrajenih količin energije v različne vrste cest na odseku 5 km	58
Preglednica 4.2: Ocena vpliva proizvodnje 1 kg kamene volne na okolje.....	61
Preglednica 4.3: Ocena vpliva proizvodnje 1 kg celulozne volne na okolje.....	61
Preglednica 4.4: Ocena vpliva proizvodnje 1 kg lanenih vlaken na okolje.....	62
Preglednica 4.5: Razlike med metodama LCA in LCC.....	65
Preglednica 5.1: Vhodni podatki (masivna stena, izhodiščni primer).....	76
Preglednica 5.2: Rezultati (masivna stena, izhodiščni primer)	77
Preglednica 5.3: Podrobni pregled rezultatov po posameznih procesnih in materialnih elementih (masivna stena, izhodiščni primer)	79
Preglednica 5.4: Podrobni pregled prispevkov posameznih procesov in materialnih elementov (masivna stena, izhodiščni primer).....	80
Preglednica 5.5: Sestave betonske mešanice (armiranobetonska stena)	90
Preglednica 5.6: Vhodni podatki (AB medetažna plošča, izhodiščni primer).....	92
Preglednica 5.7: Rezultati (medetažna AB plošča, izhodiščni primer).....	93
Preglednica 5.8: Podrobni pregled rezultatov po posameznih procesnih in materialnih elementih (medetažna AB plošča, izhodiščni primer).....	95
Preglednica 5.9: Sestave betonske mešanice (medetažna AB plošča)	102

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

EPA	Environmental Protection Agency (okoljevarstveni oddelek)
ERMCO	European Ready Mix Concrete Association (Evropske zveze proizvajalcev transportnega betona)
ISO	International Standards Organization (Mednarodna organizacija za standardizacijo)
LC50	Lethal Concentration 50 (koncentracija strupenih snovi, ki povzroči v določenem časovnem obdobju, pogin 50% testiranih živali)
LCA	Life cycle assessment (analiza življenjskega cikla)
LCI	Life cycle inventory (inventar življenjskega cikla)
LCIA	Life cycle impact assessment (vrednotenje vplivov življenjskega cikla)
SETAC	Society for Environmental Toxicology and Chemistry (Zavod za okoljsko toksikologijo in kemijo)
USEPA	US Environmental Protection Agency (ameriški oddelek za okoljevarstvo)

1 UVOD

Pomena naravnega okolja in dolžnosti, da ga poskusimo kar najbolje ohraniti za prihodnje rodove, se zaveda vse več ljudi. Nadvse pomembno je, da se tega zavedajo tisti, ki lahko za ohranitev okolja tudi veliko storijo – osveščeni predstavniki tistih industrijskih panog, ki s svojim delovanjem močno vplivajo na naravo.

Skrb o izrabi abiotičnih virov in vse večje onesnaževanje sta strokovnjake v številnih podjetjih vzpodbudila do so se preusmerila na izdelavo »zelenih« proizvodov ter uporabo okolju prijaznih tehnologij. In ker je faktor vpliva izdelkov na okolje vse pomembnejši, se tudi podjetja vse pogosteje odločajo za rešitve, ki omogočajo zmanjševanje negativnih vplivov. Tako je nastala analiza življenjskega cikla izdelkov (LCA), ena od metod za ugotavljanje negativnih vplivov izdelkov na okolje.

Analiza življenjskega cikla (Life Cycle Assessment, LCA) je metoda, namenjena ugotavljanju vplivov izdelka na okolje v njegovem celotnem življenjskem ciklu (»od zibelke do groba«), upošteva tako proizvodnjo in uporabo kot tudi odstranitev izdelka. Gre torej za metodo, na kateri sloni odločanje med alternativnimi tehnologijami proizvodnje določenega izdelka (pri proizvajalcu) oz. odločanje med posameznimi primerljivimi izdelki (pri kupcu oziroma investitorju).

Metodo LCA so začeli v sedemdesetih letih 20. stoletja razvijati v Združenih državah Amerike. Zavod za okoljsko toksikologijo in kemijo (SETAC) v Severni Ameriki in Ameriški oddelek za okoljevarstvo (USEPA) sta botrovali organiziranju delavnic, seminarjev in drugih projektov, v katerih so razvijali orodja za izdelavo inventarizacije in ocenjevanja vplivov na okolje. Podobne projekte so izvajali tudi SETAC-Europa, druge mednarodne organizacije, kot na primer Mednarodna organizacija za standardizacijo in ISO, in drugi strokovnjaki LCA. V zadnjem času so veliko bolj kot ameriške organizacije aktivne organizacije evropskih držav. Številne vlade spodbujajo uporabo metode LCA. Med evropskimi velja omeniti predvsem Nizozemsko in Dansko, ki razvijata programsko opremo za analizo življenjskega cikla, ter Švico, ki je bila vodilna v zbiranju in obdelavi podatkovne baze LCA. Zasluge ima tudi Japonska, katere vlada je namenila veliko denarja za razvoj metode.

LCA sistematično identificira in oceni možnost za zmanjšanje negativnih vplivov na okolje, ki nastajajo pri proizvodnji, uporabi in odstranitvi izdelkov. Raziskave USEPA in SETAC so pripeljale do splošno uveljavljenega štiristopenjskega pristopa k LCA. Štiristopenjski pristop sestavljajo:

1. Opredelitev cilja in obsega študije;
2. Merjenje materialnih tokov, uporabe neobnovljivih materialnih in energetskih virov, uporabe fosilnih goriv, porabe energije, porabe vode in količine povzročenih emisij v vseh fazah življenjskega cikla oz. določitev inventarja življenjskega cikla (Life Cycle Inventory, LCI);
3. Interpretacija rezultatov inventarja za oceno vpliva na okolje oziroma ovrednotenje vplivov na okolje (Life Cycle Inventory Assessment, LCIA);
4. Ocenjevanje možnosti za zmanjšanje porabe energije in surovin ter vpliva na okolje med življenjskim ciklom oz. predstavitev rezultatov analize življenjskega cikla (Improvement Analysis, or Interpretation).

1.1 Izboljšanje LCA

V začetku je bilo precej dvomov v verodostojnost rezultatov ter kritik glede dostopnosti in uporabnosti metode. Strokovnjaki so se zato lotili raziskavi, kako poenostavili LCA ter jo naredili zanesljivejšo in uporabniku prijaznejšo, da pa pri tem ne bi izgubili ključnih značilnosti metode. Poenostavljanje se je nanašalo predvsem na postopek opredelitve cilja in obsega študije. Na tej stopnji se je, glede na posamezen primer, potrebno odločiti, kaj bo in kaj ne bo vključeno v študijo.

Na osnovi LCA obstajajo orodja, ki temeljijo na opazovanju posameznih faz življenjskega cikla proizvodov, vendar so nekatere faze v skrajšani obliki. AT&T (American Telephone and Telegraph) je na primer razvil skrajšano LCA, ki jo uporabljajo tudi druga podjetja (na primer Motorola). Nevarnost pri krajšanju metode je, da gledamo na posamezno fazo neodvisno od

drugih, pri s tem pa izgubimo del podatkov. Tako je lahko tudi v primeru upravljanja s trdnimi odpadki izdelkov. Na prvi pogled se lahko zdi najbolj smiselno in okolju prijazno, da odpadke recikliramo in jih kasneje ponovno uporabimo. Če pa analiziramo vse faze življenjskega cikla, vidimo, da ima reciklaža posledično tudi negativne vplive na okolje. Odpadni material moramo namreč prevažati z vozili na fosilna goriva, ki oddajajo v ozračje škodljive pline.

Metoda LCA je lahko torej le tista, ki meri količino emisij v zrak, vodo in kopno, spremlja vsa obdobja življenjskega cikla (pridobivanje surovin, proizvodnjo in rabo izdelkov, reciklažo in odlaganje), in upošteva določene vrste analiz, na podlagi katerih interpretiramo rezultate.

1.2 Namen naloge in pregled vsebine

Razvoj metode s strani mednarodne organizacije za standardizacijo (ISO) je privedel do povečanega zanimanja za načrtovanje izdelkov, ki upošteva tudi okoljske vplive izdelka. LCA postaja pomemben del upravljanja z okoljem. Ocenjevanje življenjskega cikla lahko uporabljamo za zmanjševanje vpliva industrije na okolje, hkrati pa za odkrivanje možnosti za ekonomično in naravi prijazno upravljanje.

V svetu so začeli LCA v gradbeništvo uporabljati kasneje kot v drugih industrijskih panogah, delno zaradi kompleksnosti proizvoda – gradbenega objekta, kakor tudi zaradi specifičnosti gradbene proizvodnje. Vendar tudi gradbena podjetja sledijo trendu varovanja okolja in uvajajo v svojo proizvodnjo koncept trajnostnega razvoja, še zlasti v obliki uvajanja sistemov ravnanja z okoljem in uporabi analize življenjskega cikla pri odločanju o izboru tehnologije in vhodnih surovin. Vse bolj so okoljsko osveščeni tudi investitorji, še zlasti, če gre za porabnike javnih sredstev. Investitor lahko uporablja, kot enega od kriterijev pri ocenjevanju ponudb za želen gradbeni objekt, tudi celostne okoljske vidike proizvodnje, uporabe in odstranitve objekta.

Nadalje lahko ugotovimo, da se v Sloveniji metoda LCA šele začenja uveljavljati. Eden redkih prispevkov k tej metodi v slovenskem merilu, je doktorska disertacija (Lipušek,

2005), na področju gradbeništva pa viri razpoložljive literature kažejo, da je metoda skoraj neznana.

Namen tega diplomskega dela je predstaviti metodo življenjskega cikla (LCA) ter njeno uporabo v gradbeništvu kot potencialno metodo za odločanje o izbiri tehnologije in vrste surovin v gradbeni proizvodnji.

Krajšemu uvodu sledi poglavje o splošnih načelih metode analize življenjskega cikla (LCA). V njem so opisane osnove in ključni koraki v nadaljevanju uporabljene metode. Tretje poglavje predstavlja povzetek standardov ISO 14040, ISO 14041, ISO 14042 in ISO 14043, ki podajajo splošna načela in pravila za vodenje študije. Sledi poglavje o uporabi analize življenjskega cikla v gradbeništvu z predstavitvijo nekaj primerov s področja gradbene proizvodnje ter z opisom zveze analize življenjskega cikla (LCA) s stroškovno analizo življenjskega cikla (LCC). V petem poglavju je podan opis obstoječega računalniškega programa **EcoConcrete**, ki je namenjen analizi vpliva gradbenih armiranobetonskih elementov na okolje. Nadalje predstavlja to poglavje analizo dveh konstrukcijskih sklopov (medetažno ploščo in masivni betonski zid). Diplomsko delo zaključuje poglavje z zaključki.

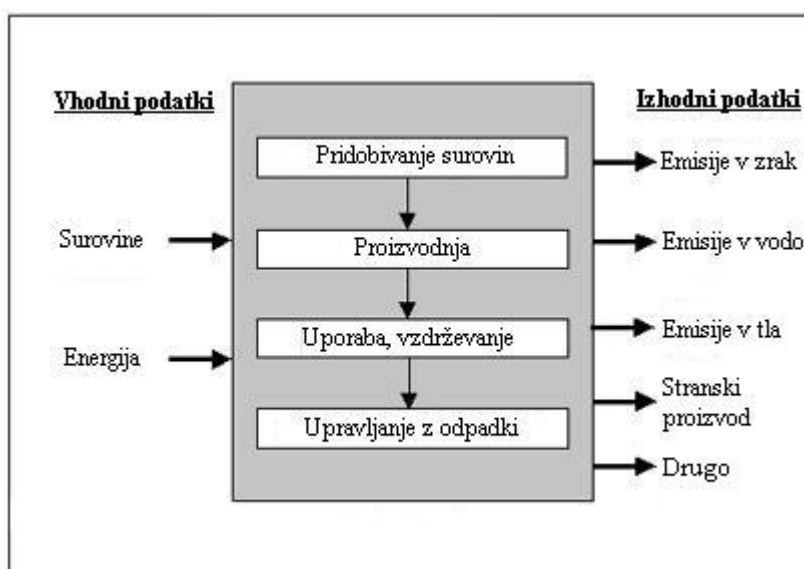
2 ANALIZA ŽIVLJENJSKEGA CIKLA (LCA)

2.1 Kaj je analiza življenjskega cikla

Analiza življenjskega cikla preučuje obremenitve izdelkov na okolje preko celotnega življenjskega cikla, kar pomeni, da analizira njihove vplive od pridobivanja surovin, ki so za proizvodnjo izdelka potrebne, preko proizvodnje materialov, proizvodnje in uporabe izdelkov, pa vse do odstranjevanja odsluženih izdelkov z recikliranjem in ponovno uporabo materialov, oziroma z odlaganjem na odpad. V nasprotju z nekaterimi tradicionalnimi metodami nam LCA ovrednoti posamezne stadije življenjskega cikla z upoštevanjem njihove medsebojne odvisnosti ter prikaže skupen vpliv vseh obdobj na okolje.

LCA je način določevanja vpliva izdelkov na okolje z:

- inventarizacijo oz. zbiranjem podatkov vseh surovin in o količini energije, ki se v življenjski dobi izdelka porabijo, ter podatkov o količini emisij v vodo, zrak in tla, ki so sproščene v okolje v celotnem življenjskem ciklu izdelka;
- ocenjevanjem oz. vrednotenjem vplivov na okolje;
- pravilno interpretacijo rezultatov.

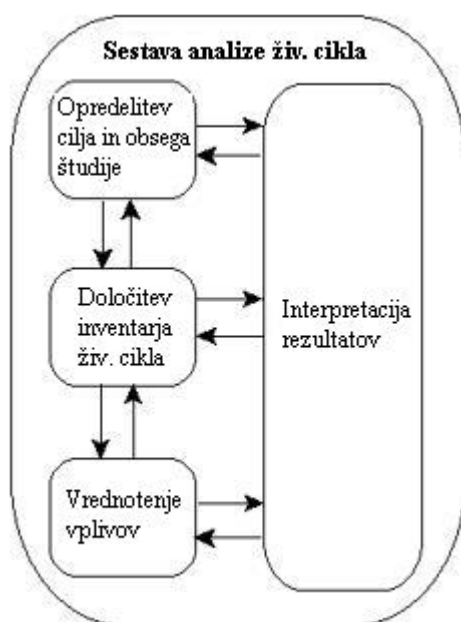


Slika 2.1: Tipične faze življenjskega cikla proizvoda (Environmental protection agency, 4.11.2005)

LCA je metoda vrednotenja vseh inputov in outputov nekega proizvoda, procesa ali storitve (LCI); vrednotenje z njimi povezanih odpadkov, ogrožanja človekovega zdravja in ekološke bremenitve (LCIA); ter pravilna interpretacija in posredovanje rezultatov. Tipične faze življenjskega cikla ter vhodni in izhodni podatki so prikazane na sliki 2.1.

LCA je sistematična fazna metoda, sestavljena iz štirih delov: določitev cilja in obsega študije, določitev inventarja življenjskega cikla, vrednotenje vplivov in interpretacija rezultatov (slika 2.2):

1. *Opredelitev cilja in obsega študije* – opis in definicija izdelka, procesa ali storitve. Določiti je potrebno obseg, v katerem se bo izvajala študija, in vplive na okolje, ki bodo predmet analize.
2. *Določitev inventarja življenjskega cikla* – Potrebno je identificirati in ugotoviti količino porabljene energije, vode in surovin ter emisij v vodo, tla in zrak.
3. *Vrednotenje vplivov* – Ovrednotiti moramo vplive, ki jih imajo uporabljena energija, voda in surovine na človeka in njegovo okolje.
4. *Interpretacija življenjskega cikla* – Ovrednotiti je potrebno rezultate, tako da lahko ugotovimo ustreznost izdelkov, procesa ali storitve.



Slika 2.2: Sestava analize življenjskega cikla (ISO 14040, 1997)

LCA je zaradi upoštevanja vseh procesov med življenjskim ciklom (izkop surovin, proizvodnja energije, potrebne za proizvodnjo izdelkov, uporaba izdelkov in končno upravljanje z izdelki po uporabi) na svojem področju edinstvena. Pri izbiri med dvema alternativama, nam metoda s pomočjo primerjanja vplivov obeh izdelkov, procesov ali storitev, pomaga izbrati ugodnejšo.

2.1.1 Prednosti uporabe LCA

LCA nam pomaga izbrati izdelek, ki ima z vidika negativnih vplivov na okolje najmanjši učinek. To informacijo lahko uporabimo pri iskanju okoljevarstvenih rešitev ter iskanju ekonomičnih in kakovostnih izdelkov. Metoda identificira morebitne prenose okoljskih vplivov med sredstvi (npr. čiščenje zraka z vodnimi filtri ima negativen učinek na uporabljeno vodo) in/ali obdobji življenjskega cikla (npr. med fazo predelave materialov za ponovno uporabo in fazo izkopa surovin). Z uporabo tradicionalnih metod bi po vsej verjetnosti omenjene prenose spregledali in s tem izgubili natančnost rezultatov.

Za primer vzemimo primerjanje dveh sorodnih izdelkov. Na prvi pogled bi lahko dejali, da je za okolje prijaznejši »Izdelek 1«, ker v življenjskem ciklu »Izdelka 2« pridelamo večjo količino trdih odpadkov. Z uporabo LCA se lahko izkaže, da ima »Izdelek 1« odločno večji vpliv na okolje z oddajanjem strupenih snovi v vodo, tla in zrak. S primerjavo rezultatov pridemo do ugotovitve, da je »Izdelek 2«, z manjšimi emisijami v vodo, tla in zrak, ugodnejša izbira, kljub večji količini trdnih odpadkov.

Raziskovalci se analize življenjskega cikla poslužujejo za:

- razvoj sistematičnega ocenjevanja okoljskih posledic nekega izdelka,
- ugotavljanje količine emisij v vodo, zrak in tla glede na posamezno fazo življenjskega cikla in za vsak dejavnik posebej,
- pomoč pri ugotavljanju pomembnejših prenosov okoljskih vplivov,
- primerjanje vplivov na okolje za dva ali več konkurenčnih proizvodov,
- ugotavljanje vplivov na nekem določenem območju.

LCA je torej pripomoček, ki proizvajalcu ali kupcu izdelka omogoči, da se odloči za optimalno tehnologijo oz. izdelek glede na okoljske vplive, ki jih ta izdelek ustvarja v toku svojega življenjskega cikla.

2.1.2 Omejitve pri uporabi LCA

Izvajanje analize življenjskega cikla se lahko razvije v drag in zamuden proces. Glede na želeno poglobljenost analize lahko postane pridobivanje podatkov težavno opravilo. Razpoložljivost podatkov pa je eden od najpomembnejših vplivov na točnost rezultatov, zato je priporočljivo, da predhodno ocenimo čas, ki bo potreben za izvedbo študije, finančne vire in dostopnost do podatkov.

LCA uporabniku ne daje odgovorov na vprašanje, kateri od izdelkov ali storitev je cenejši ali kvalitetnejši. Rezultate analize bi morali biti upoštevati v obširnejšem procesu izbiranja ustreznega izdelka ali njegove tehnologije, kot dodaten pomemben kazalec poleg cene in kvalitete.

2.2 Opredelitev cilja in obsega študije

Opredelitev cilja in obsega študije je faza procesa LCA, kjer v procesu odločanja definiramo namen in metodo vključevanja vplivov na okolje. V tej razvojni stopnji morajo biti določene naslednje postavke: vrsta informacije, potrebna v procesu odločanja, potrebna stopnja natančnosti rezultatov ter način podajanja rezultatov, da bodo razumljivi in uporabni.

2.2.1 Vpliv opredelitve cilja in obsega študije na potek LCA

LCA lahko uporabljamo za ugotavljanje vpliva poljubnega izdelka, storitve ali procesa na okolico. Z opredelitvijo cilja in obsega študije določimo čas in vire za izvedbo analize, obenem pa zagotovimo njen optimalen potek, s čimer pridemo do ustreznih rezultatov. Vsaka odločitev v tej fazi vpliva na potek študije in na kvaliteto rezultatov. V tem poglavju bomo skušali opisati odločitve, ki jih moramo sprejeti v obravnavani fazi analize življenjskega cikla, ter vpliv teh odločitev na LCA proces.

Za optimalno izrabo virov in časa moramo na začetku LCA sprejeti šest osnovnih odločitev, ki so:

- a) Definicija cilja projekta
- b) Določitev tipa potrebnih informacij za proces odločanja
- c) Določitev ureditve podatkov in prikaza rezultatov
- d) Določitev kaj bo vsebovano v LCA in česa ne bo
- e) Določitev zelene natančnosti podatkov
- f) Določitev osnovnih pravil za izvrševanje dela

a) Definicija cilja projekta

LCA je večstransko orodje za merjenje celotnega učinka (»od zibelke do groba«) nekega izdelka, storitve ali procesa. Primarni cilj je izbrati optimalni izdelek, storitev ali proces, ki bo imel najmanjši vpliv na človekovo zdravje in življenjsko okolje. Seveda obstajajo tudi sekundarni cilji, ki so odvisni od posameznega projekta. Primeri sekundarnih ciljev so:

- dokazati večji vpliv na okolje obravnavanega izdelka glede na primerljiv izdelek;
- poiskati obdobje v življenjskem ciklu izdelka, kjer so izraba virov in emisije v zrak, vodo in tla v dovoljenih mejah;
- ugotoviti vplive na določene elemente;
- pridobiti osnovne informacije o porabi energije, surovin in obremenitve okolja za določen primer;
- pomoč pri razvoju novih produktov, storitev ali procesov.

b) Določitev tipa potrebnih informacij za proces odločanja

LCA nam lahko pomaga odgovoriti na številna vprašanja. Identifikacija vprašanj, katerih odgovori nam služijo pri procesu odločanja, je pomembna za definicijo parametrov študije. Nekaj primerov vprašanj:

- Kateri proizvod ali storitev povzroči najmanjši vpliv na okolje preko celotnega življenjskega cikla in kateri le v posameznih fazah?
- Kako bodo spremembe lastnosti izdelka vplivale na obremenitev okolja?

- Kateri proces povzroča najmanjši vpliv na zakisovanje tal, onesnaževanje vode in tanjšanje ozonske plasti?
- Kako lahko spremenimo nek proces za zmanjšanje vpliva na segrevanje ozračja?

Ko imamo definirana vprašanja, je potrebno določiti še tip informacij, ki so nujne za iskanje ustreznih odgovorov.

c) Določitev ureditve podatkov in prikaza rezultatov

Uporabniki definirajo organiziranost podatkov v skladu s pogoji funkcionalne enote (glej razdelek 5.1.4), ki določa funkcijo izdelka oziroma procesa. Primerjava izdelkov mora biti osnovana glede na enako funkcijo in enako funkcionalno enoto. Za zeleno natančnost študije in uporabnost rezultatov je potrebna skrbno izbrana funkcionalna enota za primerjanje in prikaz rezultatov.

Kot ilustrativni primer pogledimo primerjavo dveh različnih toplotno izolativnih materialov. Plasti primerjamo glede na enako funkcijo, ki je v tem primeru sposobnost zmanjševanja prehoda toplotnega toka skozi določeno plast. 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%, moramo poiskati tako debelino »izdelka 2«, da bo tudi ta enako zmanjšal prehod toplotnega toka.

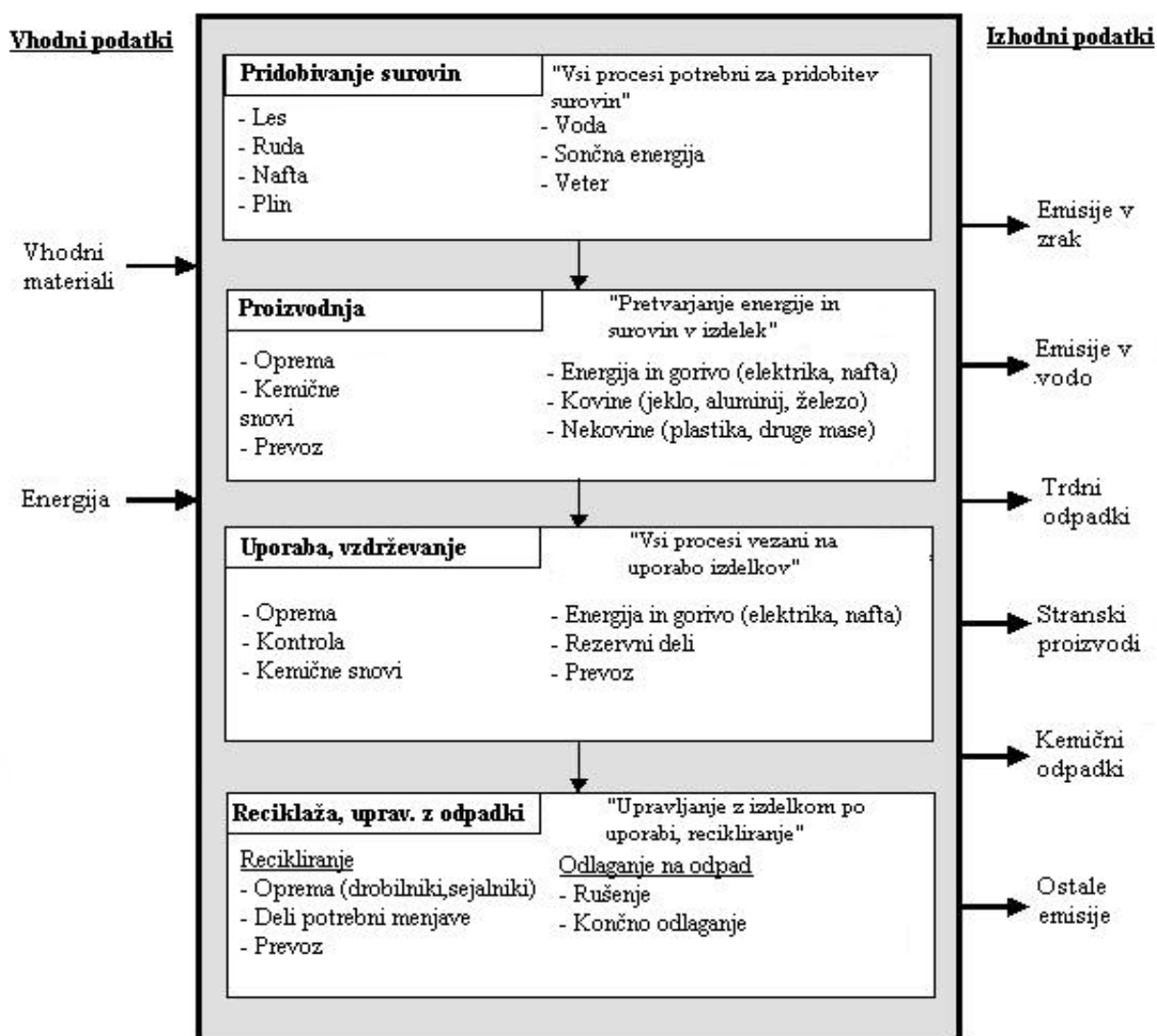
d) Določitev faz, ki jih bo LCA vsebovala

Analiza življenjskega cikla identificira in ocenjuje obremenitve izdelkov ali storitev na okolje tekom njihovega življenjskega cikla (glej razdelek 2.1). V LCA je potrebno upoštevati vse štiri glavne faze življenjskega cikla obravnavanega izdelka ali storitve: pridobivanje surovin, proizvodnja (gradnja), uporaba in vzdrževanje, recikliranje in upravljanje z izdelkom (objektom) po uporabi.

Pred odločitvijo o tem, ali naj bo v LCA vključena ena, dve ali vse faze življenjskega cikla, moramo točno določiti cilj študije, zeleno natančnost rezultatov ter razpoložljivo količino časa in denarnih sredstev. Glavne faze življenjskega cikla so opisane v nadaljevanju (slika 2.3).

Pridobivanje (izkop) surovin

Življenjski cikel izdelka se začne s pridobivanjem materialnih in energetskih virov. V fazo pridobivanja surovin so vključeni procesi, kot so sekanje dreves in izkop neobnovljivih materialov ter drugi procesi, vključno s transportom pridobljenih surovin na mesto predelave (Environmental Protection Agency, 7.11.2005).



Slika 2.3: Primer življenjskega cikla proizvoda (Environmental Protection Agency, 7.11.2005)

Proizvodnja

Med procesom proizvodnje pripeljane surovine preoblikujemo v izdelke, ki jih nato transportiramo do uporabnikov. Faza proizvodnje se deli na tri dele: 1) predelava surovin v tako obliko materialov, ki omogoča izdelavo končnih izdelkov; 2) predelava materialov in oblikovanje končnega izdelka; 3) polnjenje/pakiranje/distribucija so tisti del proizvodnje, ki končne izdelke pripravlja za dostavo do uporabnika.

Uporaba, vzdrževanje

Od trenutka, ko preide izdelek v roke uporabnika, so v to fazo vključeni vsi procesi uporabe in vzdrževanja. Tu so vključeni tudi zahteva po energiji ter obremenjevanje okolja z rabo ali s skladiščenjem izdelka. Ko uporabnik izdelka ne potrebuje več, ga recikliramo ali odložimo na deponijo.

Upravljanje z odpadki

Zadnja faza življenjskega cikla upošteva energijo, ki je zanjo potrebna, ter obremenjevanje okolja zaradi upravljanja z izdelkom (objektom) po uporabi.

e) Določitev zelene natančnosti podatkov

Potrebna natančnost podatkov je odvisna od namena uporabe rezultatov (ali so rezultati interne narave namenjeni kot pomoč pri procesu odločanja, ali za javno raziskavo). V primeru, ko so rezultati namenjeni za javno raziskavo o ustreznosti izdelkov ali storitev, mora biti študija opravljena temeljito in na osnovi vseh podatkov, ki so na voljo. Nasprotno pa je v primeru, ko gre za interno presojo. Takrat se pogosto omejimo na grobo inženirsko presojo, saj je taka študija veliko bolj ekonomična in hitreje izvedljiva. Pomembno vlogo pri odločanju o natančnosti podatkov ima tudi cena študije in morebitne finančne posledice, ki so lahko sad netočnih rezultatov.

f) Določitev osnovnih pravil za izvrševanje dela

Pred prehodom na fazo določitve inventarja življenjskega cikla ter vrednotenja vplivov je potrebno definirati nekaj logističnih procedur projekta:

- *Dokumentiranje predpostavk* – Vse predpostavke in omejitve, sprejete tekom projekta, morajo biti skrbno beležene in pripisane k rezultatom. V primeru, da prezremo sprejete predpostavke in omejitve, se lahko zgodi, da se zdijo rezultati analize nesmiselni in neustrezni.
- *Postopki zagotavljanja kakovosti* – Zagotavljanje kakovosti je pri izvedbi LCA pomembno za uresničitev cilja in namena študije. Glede na razpoložljivost časa in denarja ter glede na namen uporabe rezultatov, uvedemo različne nivoje zagotavljanja kakovosti. Za uporabo rezultatov analize v okviru javnih razprav je priporočljiva uradna revizija procesa internih in zunanjih strokovnjakov na področju LCA. Če gre »le« za notranjo presojo pri procesu odločanja, se lahko uporabijo rezultati analize, ki jih revidira interni sodelavec z izkušnjami na področju LCA. Priporočljivo je, da k rezultatom analize priložimo uradno poročilo revidenta za vsako izmed pregledanih faz življenjskega cikla.
- *Poročilo o zahtevah in omejitvah* – Pri podajanju poročila o rezultatih analize (ali rezultatih posameznih faz analize) je potrebno temeljito opisati uporabljen metodologijo. Poročilo mora vsebovati jasne razlage o sprejetih predpostavkah in omejitvah. Rezultati morajo biti skladni s ciljem in namenom študije.

2.3 Inventar življenjskega cikla (LCI)

Pri proučevanju obremenjevanja okolja v celotnem življenjskem ciklusu izdelka je potrebno izdelati popis oz. inventar vseh vplivov na okolje. Potrebno je torej zbrati podatke o količinah vseh surovin in količini energije, ki se v življenjski dobi izdelka porabijo, ter podatke o količini emisij v tla, vodo in zrak, ki so v okolje sproščene v celotnem življenjskem ciklusu izdelka. Tudi v tej fazi LCA je zelo pomembna natančnost, saj vpliva na celoten potek študije.

Inventar življenjskega cikla se lahko uporablja na različne načine. Najbolj splošna je uporaba v organizacijah za primerjavo vplivov izdelkov na okolje. Poleg tega se uporablja tudi za sprejemanje programov v zvezi z izrabo neobnovljivih virov ter regulacijo emisij v tla, vodo in zrak. Z analizo popisa dobimo spisek s količinami vseh emisij ter količinami porabljene energije in materialov.

2.3.1 Ključni koraki inventarja življenjskega cikla

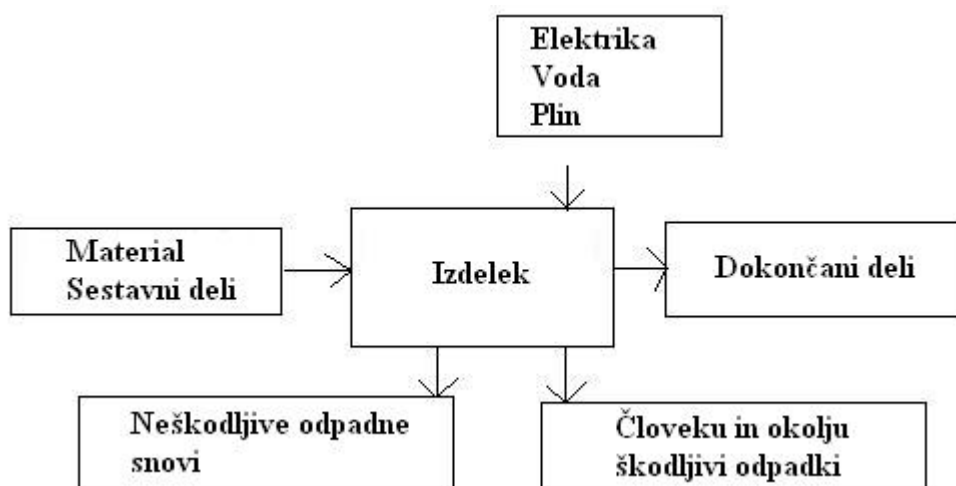
Leta 1993 je EPA izdala dokument z naslovom Ocenjevanje življenjskega cikla: Smernice in načela inventarja (*Life-Cycle Assessment: Inventory Guidelines and Principles*). Leta 1995 so sledile še Smernice ocenjevanja kvalitete inventarja analize življenjskega cikla (*Guidelines for Assessing the Quality of Life-Cycle Inventory Analysis*), (Environmental Protection Agency, 7.11.2005). Kombinacija obeh dokumentov nam zagotavlja ogrodje za izvedbo analize inventarja ter za oceno kvalitete uporabljenih podatkov in rezultatov. Definira nam naslednje korake inventarja življenjskega cikla:

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

Korak 1: Razvoj diagrama procesnega poteka (flow diagram)

Diagram poteka¹ je orodje za prikazovanje inputov in outputov v nekem procesu. Celotno sliko materialnih tokov v nekem življenjskem ciklusu predstavimo z večjim številom med seboj združenih procesnih enot (slika 2.4). Za natančnejše rezultate so potrebni kompleksnejši diagrami toka, ki zahtevajo za zbiranje podatkov in analize več časa in denarja.

¹Diagram poteka (flow diagram): Grafično prikazovanje strukture nekega sistema (ponavadi s konvencionalnimi simboli), v smislu fizičnega in informacijskega pretoka med posameznimi razdelki



Slika 2.4: Prikaz vhodnih/izhodnih procesnih enot v življenjskem ciklu (Environmental Protection Agency, 7.11.2005)

Diagrame poteka uporabljamo za modeliranje alternativnih rešitev prvotno zastavljenih sistemov ter za primerjalno študijo (dveh izdelkov), pri čemer moramo upoštevati nekatera načela. Za verodostojne rezultate moramo upoštevati enake omejitve za osnovne in »alternativne« izdelke.

Korak 2: Razvoj načrta za zbiranje podatkov

Med izbiranjem virov podatkov za dopolnitev inventarja življenjskega cikla se poslužujemo načrta zbiranja podatkov, ki zagotavlja, da so podatki zelene natančnosti in kvalitete. Ključni elementi načrta so:

- definiranje zelene kakovosti,
- določitev virov in tipa podatkov,
- določitev pokazateljev kakovosti podatkov,
- razvoj podatkovne liste in kontrolnega seznama

Definiranje zelene kakovosti podatkov – Definiranje zelene kakovosti podatkov nam podaja ogrodje za določevanje razmerja med razpoložljivim časom in viri na eni strani ter potrebno kakovostjo podatkov za določanje obremenitev okolja na drugi strani (Environmental Protection Agency, 7.11.2005). Cilj, doseči določeno kvaliteto podatkov, je v tesni povezavi s

ciljem celotne študije in služi dvema namenoma. Strokovnjakom LCA pomaga razviti postopek zbiranja podatkov na osnovi potrebne kakovosti podatkov za analizo; služi pa tudi kot kontrola kakovosti podatkov.

Obseg in natančnost podatkov sta v veliki meri odvisna od zahtevane natančnosti rezultatov, ki jih potrebujemo za proces odločanja. Zaradi tega ne moremo v naprej določiti inventarjev življenjskih ciklov, ampak se ti razlikujejo od primera do primera.

V nadaljevanju je predstavljen primer spiska, ki definira želeno kvaliteto podatkov:

- Zahtevani so specifični podatki za porabo surovin in energije, porabo vode, emisije v zrak in vodo, proizvodnje trdnih odpadkov.
- Za podatke o energiji se zahtevajo približne vrednosti.
- Podatki o emisijah v zrak naj bodo podobni kot za primerljiva območja v EU.
- V LCI naj bo zabeležen najmanj 95% delež vložene količine energije in surovin.

Določitev pokazateljev kakovosti podatkov – Pokazatelji kakovosti so referenčne vrednosti, s katerimi primerjamo zbrane podatke, da ugotovimo, ali so ti zelene kvalitete. Podobno kot velja za zelen nivo kakovosti podatkov, se tudi indikatorji kakovosti spreminjajo glede na posamezen primer. Indikatorji kakovosti so odvisni predvsem od vrste podatkov, na katere jih apliciramo. Primeri indikatorjev so natančnost, dovršenost, doslednost in obnovljivost.

Določitev virov in tipa podatkov – Za vsako obdobje življenjskega cikla, vsako procesno enoto in posamezen dejavnik vpliva predpišemo zahtevan vir in tip podatkov, ki so potrebni za natančen potek študije. Priporočljivo je, da se opravila lotimo v začetku procesa, saj tako zmanjšamo porabo časa in denarja.

Primeri podatkovnih virov obsegajo naslednje:

- merilni števci aparatur,
- poročilo podatkov iz gospodarstva,
- rezultati laboratorijskih preskušanj,
- vladne listine, poročila, zbirke podatkov,
- druge javno razpoložljive zbirke podatkov,

- dnevniki, papirji, knjige in patenti,
- priročniki,
- trgovinska združenja,
- popisi sorodnih študij življenjskih ciklov,
- inženirska presoja.

Razvoj podatkovne liste in kontrolnega seznama – Naslednji korak je izdelava kontrolnega seznama inventarja vplivov na okolje. Namenjen je zbiranju in pregledovanju podatkov ter izdelavi baze podatkov v elektronski obliki. Kontrolni seznam mora pokrivati naslednja področja:

- namen popisa,
- sistemske omejitve,
- zemljepisno območje,
- vrsta uporabljenih podatkov,
- postopki zbiranja podatkov,
- stopnja podatkovne kakovosti,
- pojasnilo računskega modela,
- predstavitev rezultatov.

Za vsak proces, modeliran v diagramu pretoka, izdelamo še podatkovni list, kjer zabeležimo vsak input in output.

Podatkovna lista in kontrolni seznam sta dragoceni orodji za zagotavljanje dovršenosti, točnosti in doslednosti študije. Pomembni sta predvsem pri velikih projektih, kjer je v proces zbiranja podatkov vključenih veliko ljudi, ki se poslužujejo različnih virov informacij.

Korak 3: Zbiranje podatkov

Diagram pretoka, obrazložen v koraku 1, nam nudi postopek za zbiranje podatkov. Korak 2 podrobno določi zahtevane vire, tip, kakovost in natančnost podatkov ter uporabljeno metodo zbiranja. V koraku 3 izpolnjujemo diagram toka in podatkovne liste z numeričnimi podatki, kar pa ni vedno enostavno. Nekatere podatke je praktično nemogoče dobiti, druge pa zelo

težko prevesti na želeno funkcionalno enoto. Zato je potrebno prilagoditi cilj in obseg študije razpoložljivim podatkom, kar privede do iterativnega procesa, ki je za študijo LCA običajen.

Zbiranje podatkov je kombinacija raziskovalnega dela, neposrednega pregleda in pogovora s strokovnjaki. Veliko količino podatkov, ki jo pri tem dobimo, najlažje urejamo in vodimo v z lastnimi ali komercialnimi računalniškimi programi za LCA.

Drugi način za zmanjšanje potrebnega časa in denarja za zbiranje podatkov je uporaba v naprej izdelanih inventarjev. Veliko organizacij je ustvarilo lastne baze podatkov za namene LCA, katere vsebujejo nekaj osnovnih rešitev za snovanje inventarja življenjskega cikla. Prodajajo se posamezno, skupaj z računalniškim programom za tvorbo inventarja ali v kompletu, kjer nudijo tudi svetovanje za vodenje LCA projektov.

Korak 4: Vrednotenje in poročanje rezultatov

Ko imamo enkrat podatke zbrane in organizirane v določeno obliko, je potrebno dobljeno preveriti. Natančnost mora biti tolikšna, da omogoča izvedbo LCA v okviru začrtanega cilja in obsega.

Koraka 1 in 2 v razdelku 2.5, Interpretacija življenjskega cikla, opisujeta, kako učinkovito ocenjujemo natančnost rezultatov LCI. Kot lahko vidimo na sliki 3.3 (glej razdelek 3.2.1), je LCA iterativen proces. Določitev zbiranja podatkov z ozirom na natančnost informacij pred fazo LCIA pomeni prihranek časa in denarja. Zgodí se namreč lahko, da po izpeljani LCIA ugotovimo, da zaradi površnih podatkov ne moremo dobiti začrtanih zaključkov.

Med dokumentiranjem rezultatov LCI je potrebno podrobno definirati analizirane sisteme, opisati vse sprejete predpostavke, omejitve in uporabljene metode med analizo. Za jasen popis zahtevanih informacij se poslužujemo podatkovne liste in kontrolnega seznama.

Rezultat popisa analize je količinski seznam vseh emisij, ki predstavljajo obremenjevanje okolja, ter količino porabljene energije in surovin. Podatke lahko za lažji pregled razvrstimo glede na posamezno fazo življenjskega vpliva, glede na medij (voda, zrak, tla), glede na posamezen vpliv, ali s katerokoli kombinacijo, skladno s sprejetimi omejitvami.

2.4 Vrednotenje vplivov (LCIA)

LCIA je faza analize življenjskega cikla, kjer ovrednotimo potencialne vplive izdelkov, storitev ali procesov, ki smo jih identificirali v inventarju življenjskega cikla (LCI). Vrednotenje poteka na nivoju vpliva na ljudi, naravo ter na izrabo neobnovljivih virov. LCIA skuša poiskati povezavo med izdelkom ali storitvijo ter vplivi, ki ju imata na okolje.

Ključen pojem v tem sestavnem delu je pojem faktorjev obremenitve. Faktor obremenitve je skupek okoliščin, ki lahko povzroči vpliv na okolje. Izdelek, ki oddaja toplogredne pline, vpliva na segrevanje ozračja. Procesi, ki povzročajo iztok presežnih količin hranilnih snovi v vodo, lahko privedejo do eutrofikacije¹. LCIA določa sistematično proceduro klasifikacije in karakterizacije takih vplivov na okolje.

Čeprav se da o procesih veliko naučiti na podlagi inventarja življenjskega cikla, nam LCIA ponuja veliko bolj podrobno osnovo, na osnovi katere izvajamo primerjave. Na primer, kljub temu, da vemo, da imata 9000 ton ogljikovega dioksida in 5000 ton metana oba negativen vpliv na okolje, nam uporaba LCIA razjasni, kateri izmed obeh plinov je bolj škodljiv, kakšni so njihovi vplivi na koncentracijo smoga v ozračju, kakšni so vplivi na segrevanje ozračja, idr. Ocenjevanje vplivov lahko vsebuje tudi vrednotenje presoj. Zaskrbljenost zaradi emisij v zrak v neprezračevanem prostoru je relativno višja, kot bi bila za enako količino plina v odprtem prostoru z dobro kvaliteto zraka.

Rezultati LCIA nam priskrbijo kontrolni seznam z relativnimi razlikami vplivov na okolje za vsako opcijo. Pokažejo nam, na primer, kateri izdelek povzroča večjo emisijo toplogrednih plinov, kateri posredno povzroča večjo količino iztoka strupenih odpadkov v vodotoke in s tem poginjanje rib, ipd.

¹Eutrofikacija: Proces onesnaževanja, ki se pojavi, ko postane jezero ali vodotok prenasičen s hranili; posledica je hitra rast alg in vodnih rastlin, ki ga zaraščajo. Rastline odmrejo in razpadejo. Med razpadanjem rastline porabijo kisik v vodi, zato jezero, reka ali potok ostanejo brez življenja (Gemet, 10.10.2005).

2.4.1 Ključni koraki v ocenjevanju vplivov življenjskega cikla (LCIA)

LCIA sestavljajo naslednji koraki:

- Izbor in definicija kategorij vplivov – identificiranje kategorij vplivov na okolje (npr. segrevanje ozračja, zakisovanje, toksičnost zemljine).
- Klasifikacija (razvrstitev) – dodeljevanje LCI rezultatov kategorijam vpliva (npr. klasificiranje CO₂ k segrevanju ozračja).
- Karakterizacija (označevanje) – modeliranje LCI vplivov znotraj kategorij vplivov z uporabo znanstveno utemeljenih faktorjev konverzije (npr. modeliranje potencialnega vpliva plinov CO₂ in metana na segrevanje ozračja).
- Normalizacija – podajanje potencialnih vplivov v obliki ki omogoča primerjanje (npr. primerjanje vpliva segrevanja ozračja zaradi emisij CO₂ in zaradi metana).
- Razvrščanje – sortiranje ali rangiranje kazalnikov vplivov (npr. sortiranje kazalnikov po lokaciji: krajeven, pokrajinski in globalen).
- Ponderiranje – poudarjanje najbolj pomembnih potencialnih vplivov.
- Vrednotenje in poročanje LCIA rezultatov – boljše razumevanje zanesljivosti LCIA rezultatov.

Mednarodna organizacija za standardizacijo (ISO) je razvila standard za vodenje LCIA ISO 14042 (glej razdelek 3.3), ki pravi, da so prvi trije opisani koraki (izbor in definicija kategorij vplivov, klasifikacija, karakterizacija) obvezen del postopka LCIA. Razen koraka 7 (vrednotenje in poročanje LCIA rezultatov), so drugi koraki neobvezni, oziroma odvisni od definicije obsega in cilja metode.

Korak 1: Izbor in definicija kategorij vplivov

Prvi korak v LCIA je izbor kategorij vplivov, ki jih upoštevamo v celotnem procesu LCA. Ta korak mora biti določen v začetni fazi definicije obsega in cilja študije zaradi vodenja procesa zbiranja podatkov (LCI). Po zaključeni fazi zbiranja informacij je potrebno ponovno preverjanje uskladitve podatkov z kategorijami vplivov. Dejavniki, ugotovljeni v fazi LCA, imajo potencialne vplive tako na človekovo zdravje, kot tudi na okolje. Na primer, določen izpust plinov, ugotovljen v LCI, ima lahko negativen vpliv na človeka, ker povzroča bolelost

za rakom, obenem pa lahko vpliva tudi na naravo s povzročanjem nastajanja kislega dežja, segrevanjem ozračja ali s poginjanjem rib v bližnjem jezeru.

Vplivi so v fazi LCIA definirani kot posledica pretoka vhodov (inputov) in izhodov (outputov) sistema na človekovo zdravje, rastline in živali ter na možnosti bodoče izrabe surovin. Običajno je LCIA osredotočena na tri glavne kategorije vplivov: človeško zdravje, okoljevarstvo in izraba virov surovin. V preglednici 2.1 je opisanih nekaj kategorij vplivov.

Korak 2: Klasifikacija

Namen klasifikacije je organiziranje in možnost kombiniranja LCI rezultatov v kategorije vplivov. Za dejavnike LCI, kateri prispevajo svoj delež samo k eni kategoriji vpliva, je postopek organiziranja enoličen. Tak primer je emisija plina CO₂, katerega prispevek se dodeli v kategorijo segrevanja ozračja. Za dejavnike LCI, ki prispevajo svoj delež dvema ali več vplivnim kategorijam, obstajajo pravila za razvrščanje. Trenutno uporabljamo dva načina za dodeljevanje LCI vplivov kategorijam:

- Dodeli se ustrezen delež LCI rezultatov k posamezni vplivni kategoriji (na katere imajo vpliv). Izvaja se v primeru, ko so učinki medsebojno odvisni.
- Celoten del LCI rezultatov se dodeli vsem kategorijam vpliva (na katere imajo vpliv). Izvaja se v primeru, ko so učinki medsebojno neodvisni.

Na primer, molekula plina SO₂, ki se nahaja na prizemni višini ali se prosto giblje v atmosferi, ima lahko vpliv tako na človekovo zdravje kot na zakisovanje (vendar ne na oba hkrati). Emisije žveplovega dioksida bi se v tem primeru razdelile na obe kategoriji vpliva (50% na človekovo zdravje, 50% na zakisovanje). Po drugi strani lahko dušikov dioksid (NO₂) istočasno vpliva na nastajanje prizemeljskega ozona in na zakisovanje. V tem primeru bi se emisije NO₂ dodelile v polni meri (100%) na obe kategoriji vplivov. Procedura dodeljevanja mora biti jasno dokumentirana.

Preglednica 2.1: Splošno uporabljene kategorije vplivov (Environmental Protection Agency, 7.11.2005)

Kategorija vpliva	Merilo	Podatki LCI (klasifikacija)	Skupen karakterizac. faktor	Opis karakterizac. faktorja
Segrevanje ozračja	Globalen	Ogljikov dioksid (CO ₂)	Potencialno segrevanje ozračja	LCI podatek pretvori v vrednost, primerljivo z ogljikovim dioksidom (CO ₂)
		Dušikov dioksid (NO ₂)		
		Metan (CH ₄)		
		Fluorklorov karbon (CFC)		
		Hidrofluorklorov karbon (HCFC)		
		Metil Bromid (CH ₃ Br)		
Tanjšanje stratosferske ozonske plasti	Globalen	Fluorklorov karbon (CFC)	Potencialno tanjšanje stratosferske ozonske plasti	LCI podatek pretvori v vrednost, primerljivo z trichlorofluoromethane (CFC-11)
		Hidrofluorklorov karbon (HCFC)		
		Haloni		
		Metil Bromid (CH ₃ Br)		
Zakisovanje	Pokrajinski, krajeven	Žveplove oksidi (SO _x)	Potencialno zakisovanje	LCI podatek pretvori v vrednost, primerljivo z vodikovim (H ⁺) ionom
		Dušikovi oksidi (NO _x)		
		Solna kislina (HCL)		
		Vodiko-florova kislina (HF)		
		Amonijak (NH ₄)		
Evtrofikacija	Krajeven	Fosfat (PAD ₄)	Potencialen pojav evtrofikacije	LCI podatek pretvori v vrednost, primerljivo s fosfati (PAD ₄)
		Dušikov oksid (NO)		
		Dušikov Dioksid (NO ₂)		
		Nitrati		
		Amonijak (NH ₄)		
Fotokemičen smog	Krajeven	Ne-metanov ogljikovodik (NMHC)	Potencialen pojav fotokemičnega smoga	LCI podatek pretvori v vrednost, primerljivo z etanom (C ₂ H ₆)
Zemeljska toksičnost	Krajeven	Strupene kemikalije z vsebovano smrtonosno koncentracijo za glodalce	LC50	LCI podatek pretvori v vrednost, primerljivo z LC50
Vodna toksičnost	Krajeven	Strupene kemikalije z vsebovano smrtonosno koncentracijo za ribe	LC50	LCI podatek pretvori v vrednost, primerljivo z LC50
Človekovo zdravje	Globalen, pokrajinski, krajeven	Celoten izpust v vodo, zrak in tla	LC50	LCI podatek pretvori v vrednost, primerljivo z LC50
Izraba surovin	Globalen, pokrajinski, krajeven	Količina porabljenih fosilnih goriv in mineralnih snovi	Potencialna izraba virov surovin	Pretvori podatke iz LCI na razmerje količine porabljenih surovin proti količini, na zalogi
Raba tal	Globalen, pokrajinski, krajeven	Količina odpeljana na odlagališče	Trden odpadek	Pretvori maso trdnih odpadkov na volumen, ki ga zaseda

Korak 3: Karakterizacija (označevanje)

Z uporabo karakterizacijskih faktorjev preoblikujemo in sortiramo rezultate LCI v ustrezne kazalnike vplivov na človekovo zdravje in naravo. Omogočajo nam neposredno primerjanje LCI rezultatov znotraj posamezne kategorije vplivov. Karakterizacija nam tako, na primer, omogoča primerjanje vplivov na ekotoksičnost zemljine med svincem, kromom in cinkom.

V nadaljevanju smo podali spisek kategorij vplivov z razlagami:

- Globalni vplivi
 - *Segrevanje ozračja* – taljenje ledenikov, daljšanje poletij, spremembe v obnašanju vetrov in morja, izguba vlažnosti zemeljske površine.
 - *Tanjšanje ozonske plasti* – povečanje ultravijoličnega sevanja.
 - *Izraba virov surovin* – manjšanje razpoložljivih virov za prihodnost.
- Krajevni vplivi
 - *Fotokemični smog* – zmanjšanje vidljivosti, draženje oči in sluznice, poškodovanje vegetacije.
 - *Zakisovanje* – korozija zgradb, zakisovanje tal in vode.
- Lokalni vplivi
 - *Človeško zdravje* – večanje zbolewnosti in smrtnosti.
 - *Toksičnost zemljine* – zmanjševanje rodovitnosti prsti.
 - *Toksičnost voda* – slab vpliv na vodno floro in favno, zmanjšanje ribolova.
 - *Izraba tal* – zmanjšanje uporabnih površin.

Kazalnike vplivov določimo s pomočjo naslednje enačbe:

$$\text{Podatki iz inventarja} \times \text{karakterizacijski faktor} = \text{kazalniki vplivov} \quad (2.1)$$

Na ta način so lahko na primer vsi toplogredni plini, izraženi z ekvivalentno vrednostjo ogljikovega dioksida. Rezultate LCI pomnožimo s karakterizacijskim faktorjem za CO₂, posamezne vrednosti seštejemo in dobimo skupno vrednost toplogrednih plinov, ki vplivajo na segrevanje ozračja.

Za boljše razumevanje smo pretvorbo ponazorili na praktičnem primeru vpliva dveh kemičnih snovi na segrevanje ozračja. Za obravnavani primer poznamo:

Preglednica 2.2: Podatki za primer segrevanja ozračja (Environmental Protection Agency, 7.11.2005)

Snov	Količina [kg]	Karakt. faktor segrevanja ozračja
Kloroform	9	9
Metan	4,5	21

Z uporabo enačbe 2.1 izračunamo vpliva obeh plinov. Račun nam pokaže, da ima kloroform kljub večji količini manjši vpliv na segrevanje ozračja (preglednica 2.3).

Preglednica 2.3: Pregled rezultatov za primer segrevanja ozračja (Environmental Protection Agency, 7.11.2005)

Snov	Izračun	Vpliv na segrevanje ozračja
Kloroform	9 x 9	81
Metan	21 x 4,5	94,5

Ključ karakterizacije je uporaba ustreznih faktorjev. Za nekatere kategorije vplivov, kot so segrevanje ozračja in tanjšanje ozonske plasti, so strokovnjaki soglasni o ustreznosti faktorjev karakterizacije. Za nekatere druge kategorije vplivov, kot so izraba virov surovin, soglasja niso še dosežena.

V pravilno organizirani LCIA je potrebno dokumentirati izvor vsakega faktorja karakterizacije, tako da je zagotovljena njihova skladnost z definiranim ciljem in obsegom študije. Veliko faktorjev je osnovanih na podlagi študij v Evropi. Preden se ti faktorji lahko uporabijo v LCIA v drugih državah (npr. ZDA), je potrebna raziskava o skladnosti faktorjev s tamkajšnjo (npr. ameriško) bazo podatkov.

Korak 4: Normalizacija

Normalizacija je orodje LCIA, s katerim podatke kazalnikov vplivov preoblikujemo tako, da lahko medsebojno primerjamo kategorije vplivov. Rezultate kazalnikov normaliziramo tako, da jih delimo z izbranim referenčnim številom. Trenutno se uporablja več metod izbiranja referenčnega števila, med katerimi so:

- celotna količina emisij za neko območje (globalno, krajevno, lokalno),
- koeficient dveh alternativ,
- najvišja vrednost med vsemi opcijami.

Na izbor referenčnega števila lahko vplivata cilj in obseg LCA. Pomembno je poudariti, da se normalizirane vrednosti lahko medsebojno primerjajo le znotraj kategorij vpliva. Tako se, na primer, učinek zakisovanja ne more direktno primerjati z učinkom toksičnosti vode, ker so bili njuni faktorji karakterizacije izračunani na osnovi različnih znanstvenih metod.

Korak 5: Razvrščanje (sortiranje)

Proces sortiranja razvrsti kategorije vplivov v eno ali več skupin, kar olajša interpretacijo rezultatov znotraj določenih področij. Razvrščanje navadno predstavlja sortiranje ali rangiranje kazalnikov vplivov. V nadaljevanju sta navedeni dve možnosti razvrščanja LCIA podatkov:

- sortiranje kazalnikov po karakteristikah, kot so emisije (v vodo, tla in zrak) ali lokaciji (globalno, lokalno, krajevno),
- sortiranje kazalnikov po sistemu rangiranja (nižja, srednja ali visoka prioriteta).

Korak 6: Ponderiranje

S postopkom ponderiranja v LCIA dodeljujemo kategorijam vplivov (glede na zaznano pomembnost) ponderje. Postopek je pomemben, saj morajo kategorije vplivov izražati cilje študije. Kot smo že prej omenili, imajo škodljive emisije relativno večji vpliv v neprežračevanem prostoru kot v prostoru z dobro kvaliteto zraka, torej bi bilo v tem primeru smiselno s ponderiranjem povečati oz. zmanjšati pomembnost vpliva emisij. Ker ponderiranje

ni znanstveni proces, marveč je odvisen od presoje, je potrebno postopek podrobno opisati in dokumentirati. Čeprav se omenjena faza redno izvaja v LCA, je med vsemi najmanj razvita. V splošnem vključuje naslednja opravila:

- odkrivanje pomembnejših dejavnikov vplivov;
- določanje ponderjev;
- aplikacija ponderjev na kazalnike vplivov.

Ponderirane vrednosti lahko združujemo prek kategorij vplivov pod pogojem, da je postopek podrobno dokumentiran. Za lažje razumevanje procesa dodeljevanja pomembnosti vplivov prikažemo prvotne vrednosti skupaj z ponderiranimi.

V nekaterih primerih predstavljajo prvotne vrednosti ocenjevanja vplivov življenjskega cikla (brez ponderiranja) dovolj koristne informacije za proces odločanja. V primeru, da je ena od alternativnih variant vsaj v eni kategoriji vplivov odločilno ugodnejša z vidika vpliva na okolje, v drugih kategorijah pa so vplivi na okolje primerljivi z ostalimi, lahko določimo optimalno rešitev glede na dane pogoje. V takem primeru proces ponderiranja ni potreben in se brez težav odločimo za najboljšo varianto.

Korak 7: Vrednotenje in poročanje LCIA rezultatov

Ko imamo enkrat izračunane potencialne vplive za vse kategorije, je potrebno preveriti natančnost rezultatov. Med podajanjem rezultatov je potrebno skrbno opisati uporabljene metodologije, obrazložiti analiziran sistem in privzete predpostavke v LCIA.

Kot ostala orodja v LCA ima tudi ocenjevanje vplivov življenjskega cikla določene omejitve. Kljub temu da poteka na podlagi predpisanega postopka, sprejemamo veliko predpostavk in poenostavitev in nenazadnje temelji metoda na subjektivnih izbirah.

Nekatere ključne omejitve :

- Pomanjkanje prostorske proporcionalnosti - npr. izpust 1000 litrov amoniaka ima večji vpliv, če je izpust v majhen potok, kot če je izpust v veliko reko.

- Pomanjkanje časovne ločljivosti – na primer: 5 ton izpustitev neke emisije v obdobju enega meseca, je bolj neugoden, kot izpustiti enake količine skozi vse leto.

2.5 Interpretacija življenjskega cikla

Interpretacija življenjskega cikla je sistematična tehnologija za odkrivanje, merjenje, kontroliranje, vrednotenje in uspešno poročanje podatkov, pridobljenih z rezultati LCI in LCIA. Obenem predstavlja zaključek celotnega dela, saj je zadnja faza LCA procesa.

Mednarodna organizacija za standardizacijo (ISO) je za fazo interpretacije življenjskega cikla definirala naslednja dva cilja:

1. Analiziranje rezultatov, predstavitev sklepanja, razlaga omejitev in nudenje priporočil na podlagi izsledkov prejšnjih razvojnih stopenj LCA ter jasna interpretacija rezultatov življenjskega cikla.
2. Nuditi razumljivo, celovito in dosledno predstavitev rezultatov LCA študije z upoštevanjem zastavljenega cilja in obsega študije (ISO 1998b).

Razlaga rezultatov LCA ni vedno enostavna, saj iz samih vrednosti še ne moremo določiti optimalnih rešitev. Med opravljanjem LCI in LCIA je potrebno večkrat sprejeti določene predpostavke in odločitve na osnovi inženirske ali lastne presoje. Vsaka od teh odločitev mora biti zabeležena, tako da je razlaga rezultatov smiselna in jasna. V določenih primerih je zaradi negotovosti rezultatov nemogoče izbrati boljšo alternativo, kar pa še ne pomeni, da je bil potek LCA izguba časa. Pridobljeni rezultati nam vseeno pomagajo k boljšemu razumevanju vplivov na človekovo zdravje in na naravo, pri vsaki izmed obravnavanih variant.

Namen izvedbe LCA je informirati ljudi, ki so odgovorni za izbiro ustrezne variante izdelka ali njegove tehnologije s podatki, ki so pogosto spregledani. Te informacije zadevajo vplive obravnavanih izdelkov, storitev ali procesov na obremenjevanje okolja skozi njihov življenjski cikel. S pomočjo dodatnih programov in parametrov pridemo še do ugotovitev o tehnični, stroškovni in politični plati projektov.

2.5.1 Ključni koraki pri interpretaciji rezultatov LCA

Navodila za vodenje obravnavane faze LCA so opisana v standardu ISO 14043:2000 z naslovom Ocenjevanje življenjskega cikla: Interpretacija življenjskega cikla (Life Cycle Assessment : Life Cycle Interpretation). V standardu so opisani in obrazloženi naslednji koraki:

- identificiranje pomembnih vsebin,
- ocenitev popolnosti, natančnosti in skladnosti podatkov, in
- sprejemanje sklepov in priporočil.

Korak 1: Identificiranje pomembnih zaključkov (ugotovitev)

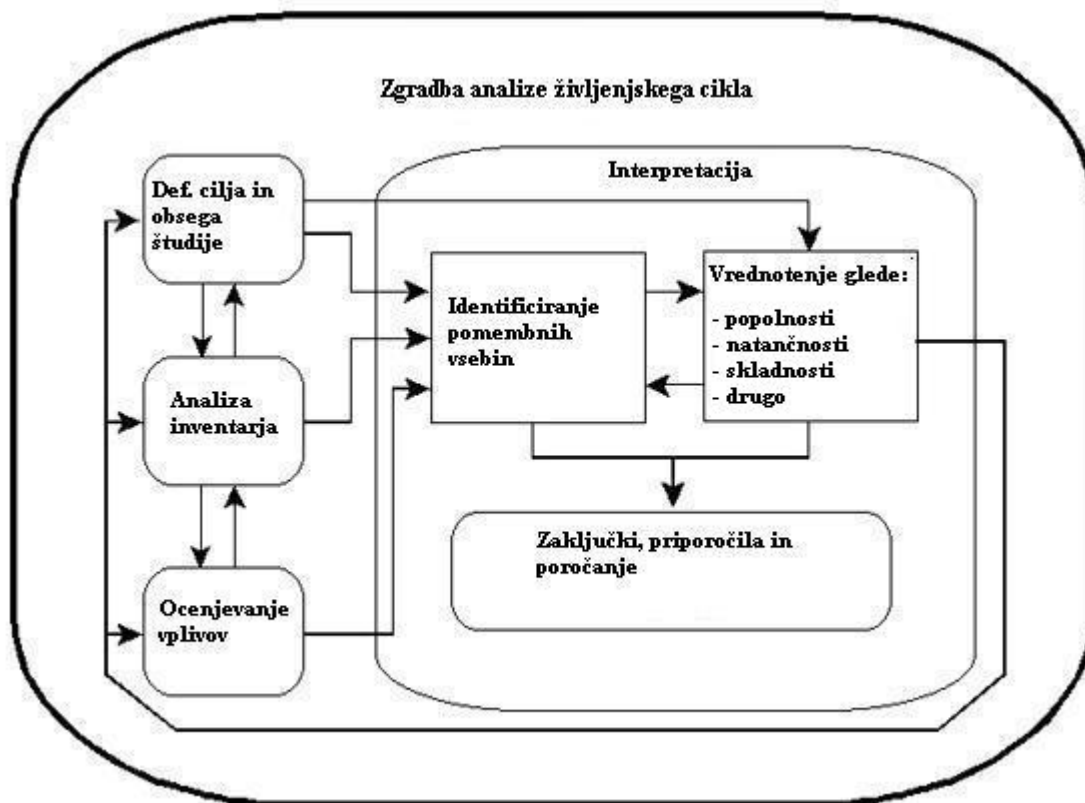
Prvi korak interpretacije življenjskega cikla vključuje pregled informacij iz prvih treh faz LCA, da bi identificirali podatke, ki najbolj vplivajo na potek LCI in LCIA pri vsakem izdelku, procesu ali storitvi. S pomočjo dobljenih »pomembnih ugotovitev« (korak 2) določamo popolnost, skladnost in natančnost študije. Zaradi velike količine zbranih podatkov je potrebno precej časa za določitev najvplivnejših informacij.

Pred določanjem, kateri del LCI in LCIA ima največji vpliv na rezultate posamezne alternative, moramo podrobno pregledati prejšnje faze študije (cilje študije, osnovne predpostavke, ponderiranje vplivov, rezultate, itd.). Nato pregledamo zbrane informacije in predstavitev rezultatov, da ugotovimo ali je bil uresničen cilj in namen študije. Če je uresničen, nadaljujemo z interpretacijo rezultatov.

Določanje pomembnejših vsebin je v nekaterih primerih komplicirano opravilo. Kot pripomoček za identificiranje pomembnih podatkov ter določanje njihovega pomena, lahko uporabimo naslednje metode:

- Analiza prispevanja – prispevke posameznih faz življenjskega cikla primerjamo s celotnim rezultatom.
- Analiza dominantnosti – statistična orodja ali druga pomagala, kot so kvantitativno ali kvalitativno rangiranje, uporabljamo za identificiranje pomembnih elementov prispevanja.

- Ocenjevanje anomalij - nenavadna ali presenetljiva odstopanja od pričakovanih ali normalnih rezultatov moramo natančno preučiti.



Slika 2.5: Povezava med fazo interpretacije in ostalimi fazami LCA (ISO, 1998)

Pomembne vsebine so sestavljene iz:

- parametrov inventarja, kot so poraba energije, emisije, odpadki, idr.,
- kazalnikov kategorij vplivov, kot so izraba virov surovin, emisije, odpadki, idr.,
- bistvenih prispevkov k LCI ali LCIA rezultatom, kot so posamezne procesne enote ali skupine procesov (npr. transport, pridelava energije).

Korak 2: Ocenitev popolnosti, natančnosti in skladnosti podatkov

Da bi zagotovili popolnost, natančnost in skladnost podatkov, moramo opraviti naslednje kontrole:

- a) kontrola popolnosti – ugotavljanje popolnosti študije;

- b) kontrola natančnosti – ocenjevanje natančnosti pomembnih podatkov, ki imajo velik vpliv na rezultate;
- c) kontrola skladnosti – ocenjevanje skladnosti pri sprejemanju omejitev in predpostavk, zbiranju podatkov in dodeljevanju vplivov kategorijam vplivov za vsako alternativo posebej.

a) Kontrola popolnosti

Kontrola zagotavlja, da so vsi potrebni podatki za interpretacijo na razpolago in da so popolni. Podatke razvrstimo v kontrolni seznam glede na fazo življenjskega cikla, različne procesne enote, tip obravnavanih podatkov (surovine, energija, transport, emisije), idr. Z uporabo seznama lahko preverimo, ali so podatki o rezultatih skladni s sprejetimi sistemskimi omejitvami (npr. da so upoštewane vse faze življenjskega cikla). Rezultat tega bo kontrolni seznam, ki potrjuje, da so dobljeni rezultati izdelka ali procesa popolni in skladni s ciljem in namenom LCA. V primeru, da ugotovimo pomanjkljivosti, je za postopek primerjanja izdelkov potrebno vložiti dodaten trud. Lahko se zgodi, da nimamo na razpolago podatkov, potrebnih za zapolnitev nastale vrzeli. V tem primeru moramo zabeležiti razlike v rezultatih in oceniti vplive kvantitativno (procent verjetnosti) ali kvalitativno.

b) Kontrola natančnosti

Namen je določiti zanesljivost rezultatov s preverjanjem, ali ugotovljene negotovosti v koraku 1 vplivajo na zanesljivost procesa odločanja. Kontrolo natančnosti izvajamo s pomočjo treh analiz kakovosti podatkov:

- Analiza pomembnosti – Identificira podatke, ki so pomembnejši za rezultate indikatorjev vpliva.
- Analiza negotovosti – Opiše negotovost LCIA podatkov pri določanju pomena kazalnikov vplivov.
- Analiza natančnosti – Meri spreminjanje obsega študije.

Analize pomembnosti, negotovosti in natančnosti morajo biti izvedene kot del razvojnih stopenj LCI in LCIA. Z definicijo cilja in namena analize življenjskega cikla smo definirali tudi zeleno kvaliteto in natančnost rezultatov. S kontrolo natančnosti ugotovimo, ali so

rezultati sorazmerni s cilji, definiranimi v prvi fazi LCA; v primeru neskladnosti je potrebno izboljšati izbrane podatke v LCI ter uporabiti primernejše modele vplivov v LCIA. Če nimamo na razpolago podatkov, ki so potrebni za izboljšanje, zabeležimo razlike v rezultatih in ocenimo vplive kvantitativno (procent verjetnosti) ali kvalitativno.

c) Kontrola skladnosti

Kontrola skladnosti preverja, ali so uporabljene metode, predpostavke in podatki tekom analize življenjskega cikla izdelka ali storitve skladne z zastavljenim ciljem in obsegom študije. Za poročanje o skladnosti oblikujemo kontrolni seznam (preglednica 2.4). Glede na zastavljen cilj in obseg študije, se dovoli določene neskladnosti.

Preglednica 2.4: Primer kontrolne liste in potencialnih neskladnosti (Environmental Protection Agency, 7.11.2005)

Kategorija	Primer nedoslednosti
Vir podatkov	Alternativa 1 se sklicuje na literaturo, alternativa 2 pa na merjene podatke.
Natančnost podatkov	Za alternativo 1 smo uporabili izčrpen diagram toka za razvoj LCI, medtem ko je bila za alternativo 2 na voljo omejena količina podatkov.
Starost podatkov	Alternativa 1 uporablja podatke na podlagi 20 let dolge študije, alternativa 2 pa podatke zadnjega leta.
Časovna predstava	Podatki za alternativo 1 opisujejo nedavno razvito tehnologijo. Alternativa 2 opiše kombinacijo novih in starejših ugotovitev.
Geografsko področje	Podatki za alternativo 1 so rezultat evropskih standardov za okolje. Alternativa 2 uporablja podatke iz okoljevarstvenih standardov Združenih držav Amerike.
Sistemske omejitve, modeli in predpostavke	Alternativa 1 uporablja model za opazovanje segrevanja ozračja za obdobje 500 let, alternativa 2 pa upošteva meritve zadnjih 100 let.

Z izpolnitvijo korakov 1 in 2 zagotovimo popolnost, skladnost in primernost podatkov inventarja, tako da lahko sprejmemo odločitve in dajemo priporočila.

Korak 3: Sprejemanje sklepov in priporočil

Cilj tega koraka je interpretacija rezultatov (ne LCI) za določevanje izdelkov ali storitev, ki imajo najugodnejši vpliv na okolje. Pomembno je, da sprejeti sklepi in priporočila temeljijo le na utemeljenih dejstvih. Ravno tako je zelo pomembno razumevanje in poročanje o morebitnih negotovostih rezultatov. V nekaterih primerih je ravno zaradi negotovosti in omejitev izbrane metode, ki je bila uporabljena za LCA, napoved, najustreznejšega izdelka ali storitve, nejasna. V takem primeru so rezultati analize še vedno koristni. Uporabljamo jih za boljše razumevanje vpliva na naravo in človekovo zdravje, za razumevanje posameznih vplivov ter za ugotavljanje obsega posameznih vplivov glede na primerjane izdelke ali storitve.

2.5.2 Poročanje rezultatov

Ko je analiza življenjskega cikla končana, je potrebno iz zbranega gradiva pripraviti poročilo o poteku študije. Poročilo mora na jasn in urejen način predstaviti rezultate, podatke, metode, omejitve in predpostavke tako podrobno, da omogočajo bralcu razumevanje študije LCA.

V primeru, da so rezultati dani v vpogled posameznikom, ki niso sodelovali v LCA, bo poročilo služilo kot referenčen dokument za korekten prikaz rezultatov. Referenčen dokument morajo sestavljati naslednji elementi (ISO, 1997):

- splošni podatki:
 - ime in naslov LCA strokovnjaka (kdor opravlja študijo LCA)
 - datum poročila
 - druge informacije o prejemniku
- definicija cilja in obsega študije
- analiza inventarja življenjskega cikla (zbiranje podatkov in računski postopki)
- ocenjevanje vplivov življenjskega cikla (metodologija in rezultati ocenjevanja vplivov)
- interpretacija življenjskega cikla
 - rezultati
 - predpostavke in omejitve

- ocenjevanje podatkovne kakovosti
- natančna revizija (interna in zunanja)
 - ime in zaposlitev revidentov
 - poročilo revizije
 - odzivi k priporočilom

3 POVZETEK STANDARDOV ZA LCA

Želje in zahteve po večjem nadzoru okoljskih vidikov podjetij so v nekaterih državah pripeljale do oblikovanja lastnih standardov za sisteme ravnanja z okoljem. Prvi standard, BS 7750, je leta 1992 razvil Britanski inštitut za standardizacijo (British Standards Institution – BSI). Sledile so mu Francija, Irska, Španija in institucije drugih razvitih držav (Lipušček, 2004).

Mednarodna organizacija za standardizacijo (ISO, International Organization for Standardization) je v letih 1992–1993 postavila osnovne elemente standardizacije okoljskega ravnanja. Skupina standardov ISO 14000 je usmerjena na samo organizacijo proizvajalca (sistem okoljskega gospodarjenja, presoja organiziranosti, ocena okoljskega delovanja) ter tudi na izdelke (označevanje okoljske primernosti, ocena življenjskega ciklusa izdelka) (International Standards Organization, 4.11.2005).

Z ocenjevanjem življenjskega ciklusa se podrobneje ukvarjajo standardi ISO 14040:1997, ISO 14041:1998, ISO 14042:2000 in ISO 14043:2000. Vsebine omenjenih standardov so povzete v nadaljevanju.

3.1 Standard ISO 14040:1997, Ravnanje z okoljem – Ocenjevanje življenjskega cikla – Načela in okviri

Standard sestavlja sedem glavnih poglavij:

1. obseg in področje uporabe
2. zveze z drugimi standardi
3. definicije
4. splošni opis LCA
5. metodologija
6. poročanje
7. kritična presoja

3.1.1 Obseg in področje uporabe

Ta mednarodni standard specificira splošne okvire, načela in zahteve za upravljanje in poročanje študije ocenjevanja življenjskega cikla, ne vsebuje pa podrobnega opisa tehnike ocenjevanja življenjskega cikla.

3.1.2 Splošni opis LCA

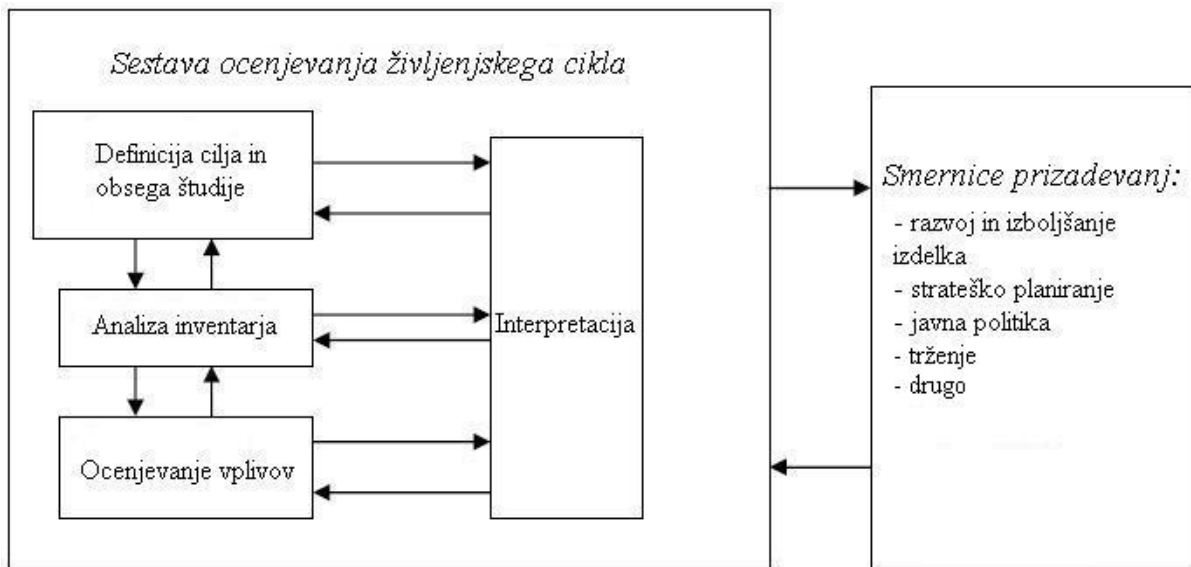
3.1.2.1 Ključni pojmi LCA

Naslednji seznam predstavlja ključne pojme v metodologiji LCA:

- LCA sistematično vrednoti vpliv izdelkov na okolje med njihovimi življenjskimi cikli.
- Želena natančnost rezultatov in potreben čas za izvedbo študije se lahko močno spreminjata glede na zastavljen obseg in cilj LCA.
- Obseg študije, predpostavke, opis podatkov, metodologija in rezultati LCA študije morajo biti jasni; viri podatkov pa tehtno izbrani, dokumentirani in primerno ponazorjeni.
- Metodologija LCA mora omogočiti vključitev morebitnih novih znanstvenih ugotovitev.
- Za LCA študijo ne obstaja univerzalna metoda. Organizacije morajo v skladu s standardom oblikovati metodo glede na svoje želje in zahteve.

3.1.2.2 Faze LCA

Ocenjevanje življenjskega cikla mora vključevati faze definicije cilja in obsega študije, analize inventarja, vrednotenja vplivov in interpretacije rezultatov (slika 3.1). Rezultati LCA predstavljajo pomembne informacije v procesu odločanja. Smernice prizadevanj, kot so predstavljena na sliki 3.1, presegajo cilje tega standarda.



Slika 3.1: Faze analize življenjskega cikla (ISO 14040, 1997)

3.1.3 Metodologija

Poleg v nadaljevanju navedenih zahtev določa standard definiranje inventarja ter cilja, in obsega študije v skladu z ustreznimi odločbami standarda ISO 14041.

3.1.3.1 Definicija cilja in obsega študije

Cilj LCA mora pojasniti razlog izvrševanja študije in komu so rezultati raziskave namenjeni. Med definicijo obsega študije naj bodo upoštewane in jasno opisane naslednje točke:

- funkcije izdelka,
- funkcionalna enota,
- procesi, ki so predmet študije,
- omejitve procesov,
- tipi vplivov, metode ocenjevanja vplivov in uporabljena interpretacija,
- zahtevani podatki,
- predpostavke,
- omejitve,
- začetna potrebna natančnost podatkov,
- tip revizije,

- tip in oblika potrebnih poročil.

Funkcija in funkcionalna enota

Funkcionalna enota je mera za učinek outputov sistema izdelka. Primarni namen funkcionalne enote je določiti izhodišče za vhodne in izhodne podatke, ki je potrebno za primerjanje rezultatov LCA.

Omejitve metode

Omejitve metode določajo, katere procesne enote bodo vključene v LCA. Na določitev omejitev vplivajo tudi naslednji dejavniki: predvidena uporaba študije, sprejete predpostavke in komu so rezultati raziskave namenjeni.

Zahteve podatkov

Zahteve podatkov določajo lastnosti podatkov, potrebnih za študijo. Pomembne so za izpolnjevanje zastavljenega obsega in cilja študije. Pokrivati morajo naslednja področja:

- časovno odvisnost podatkov,
- geografsko odvisnost podatkov,
- področje tehnologije,
- natančnost, popolnost in doslednost podatkov,
- vire podatkov,
- negotovosti informacij.

Primerjave med sistemi

Sisteme je potrebno primerjati glede na enako funkcionalno enoto. Poleg tega je potrebno uporabljati enake metodološke lastnosti, kot so omejitve sistema, učinek podatkov ter sprejeta pravila pri vrednotenju vhodnih in izhodnih podatkov. Vsako morebitno neenakost naštetih parametrov med primerjanimi sistemi, je potrebno zabeležiti in jo upoštevati.

Kritična presoja

Kritična presoja je način preverjanja, ali študija LCA izpolnjuje navodila tega standarda glede metodologije, podatkov in poročanja.

3.1.3.2 Analiza inventarja življenjskega cikla

Osnovni opis inventarja

Analiza inventarja obsega zbiranje podatkov ter vrednotenje pomembnejših vhodnih in izhodnih količin funkcije nekega izdelka (izraba surovin, emisije v vodo, zrak in tla, idr). Ti podatki predstavljajo potrebne informacije za vrednotenje vplivov življenjskega ciklusa.

Zbiranje podatkov in računski postopki

Kvalitativne in kvantitativne podatke moramo zbirati v inventar za vsako procesno enoto. Postopki zbiranja podatkov se razlikujejo glede na namen, glede na procesno enoto in glede na namen uporabe študije.

3.1.3.3 Vrednotenje vplivov življenjskega cikla

V tej fazi vrednotimo potencialne vplive na okolje z uporabo rezultatov analize inventarja življenjskega cikla. V splošnem gre za proces povezovanja podatkov iz inventarja s podatki vplivov na okolje. Faza vrednotenja vplivov obsega:

- dodeljevanje vrednosti iz inventarja kategorijam vplivov (klasifikacija);
- urejevanje podatkov inventarja znotraj kategorij vplivov (karakterizacija);
- ponderiranje vrednosti.

3.1.3.4 Interpretacija življenjskega cikla

Interpretacija je faza LCA, ko skladno z definiranim ciljem in obsegom študije združimo ugotovitve analize inventarja in vrednotenja vplivov, zato da bi povzeli sklepe in ugotovitve.

3.1.4 Poročanje

Rezultati LCA morajo biti jasno, natančno in v popolnosti posredovani interesentom. Tip in oblika poročila morata biti definirana v fazi obsega in cilja študije. Rezultati, podatki, metode predpostavke in omejitve morajo biti jasno in dovolj podrobno predstavljeni, da omogočajo

razumevanje LCA študije. Če so rezultati namenjeni neki tretji osebi (pooblaščenca in strokovnjaki študije so izključeni), je potrebno izdelati posebno poročilo, ki mora obsegati:

a) osnovne podatke:

- 1) naročnik, strokovnjak LCA;
- 2) datum poročila;
- 3) izjava o skladnosti poteka študije z zahtevami tega mednarodnega standarda.

b) definicijo cilja in obsega;

c) analizo inventarja življenjskega cikla: zbiranje podatkov in računski postopki;

d) vrednotenje vplivov življenjskega cikla: metodologija in rezultati vrednotenja vplivov;

e) interpretacijo življenjskega cikla

- 1) rezultati;
- 2) predpostavke in omejitve povezane z interpretacijo rezultatov;
- 3) vrednotenje podatkov.

f) Kritično presojo:

- 1) imena revidentov;
- 2) poročila kritične presoje;
- 3) odgovor na priporočila.

Za poročanje o primerjalnih rezultatih, je priporočljivo dodati k rezultatom:

- analizo materialnih in energijskih pretokov (s katerimi se utemelji njihova vključitev ali izključitev);
- ugotovitev natančnosti, popolnosti in skladnosti uporabljenih podatkov;
- opis enakovrednosti primerjanih sistemov (v skladu s točko 3.1.3.1);
- opis postopka kritične presoje.

3.1.5 Kritična presoja

3.1.5.1 Splošni opis kritične presoje

Proces kritične presoje mora zagotoviti, da:

- so metode uporabljene v LCA v skladu s tem mednarodnim standardom;

- so metode uporabljene v LCA strokovno in tehnološko učinkovite;
- so uporabljeni podatki primerni in v skladu s ciljem študije;
- interpretacija rezultatov odraža sprejete omejitve in cilj študije;
- je poročilo študije jasno in razumljivo.

3.1.5.2 Potreba po kritični presoji

Kritična presoja lahko poveča razumevanje in verodostojnost LCA študije. Ob uporabi rezultatov študije v primerjalnih analizah je uporaba kritične presoje nujna, da se izognemo morebitnim nesporazumom (predvsem, ko gre za poročanje tretjim osebam).

3.1.5.3 Proces kritične presoje

Namen izvedbe kritične presoje mora biti definiran v sklopu faze definiranja cilja in obsega študije. Pojasniti mora, zakaj se presoja sploh izvaja, kaj obravnava, kako natančno se izvaja ter kdo jo izvaja. Vsaka presoja in ugotovitev morajo biti priložene rezultatom študije.

Interna kritična presoja

Izvajajo jo interni strokovnjaki LCA, za katere se zahteva, da so seznanjeni z načeli tega standarda in so praktično in tehnološko usposobljeni. Kontrolno poročilo pripravi oseba, ki vodi LCA študijo in jo nato da v pregled internemu neodvisnemu strokovnjaku. Poročilo lahko tudi v celoti izdelata interni neodvisni strokovnjak.

Zunanja kritična presoja

Kritično presojo lahko vodi zunanji strokovnjak, ki ni sodeloval pri pripravi LCA študije in je zato neodvisen. Od strokovnjakov se zahteva, da so seznanjeni z načeli tega standarda in da so praktično in tehnološko usposobljeni. Kontrolno poročilo pripravi oseba, ki vodi LCA študijo, in jo nato da v pregled zunanjemu neodvisnemu strokovnjaku; poročilo lahko tudi v celoti izdelata zunanji neodvisni strokovnjak.

Pregled s strani tistih, ki jim je študija namenjena

Za vodjo revizije izbere naročnik zunanjega neodvisnega strokovnjaka. Glede na cilj, obseg in proračun, namenjen za pregled, določi vodja revizije dodatne neodvisne kvalificirane revidente. Ugotovitve pregleda, poročilo pregleda in komentarje revidentov zabeležijo k poročilu rezultatov LCA.

3.2 Standard ISO 14041:1998, Ravnanje z okoljem – Ocenjevanje življenjskega cikla – Opredelitev cilja in obsega ter inventarizacija

Ta standard se sooča z dvema fazama analize življenjskega cikla (LCA); z definicijo cilja in obsega študije ter analizo inventarja življenjskega cikla (LCI), ki sta definirana v standardu ISO 14040.

Standard sestavlja osem glavnih poglavij:

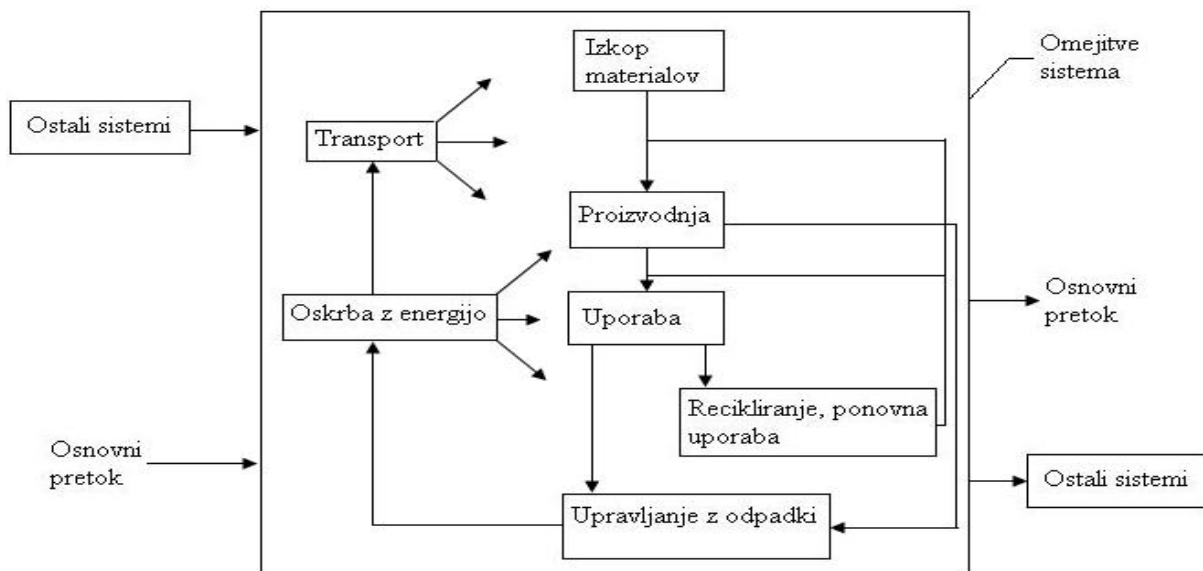
1. obseg in področje uporabe
2. zveze z drugimi standardi
3. definicije
4. sestava LCI
5. definicija cilja in obsega
6. analiza inventarja
7. omejitve LCI
8. poročilo študije

3.2.1 Obseg in področje uporabe

Standard določa, skupaj z ISO 14040, potrebe in zahteve za definiranje cilja in obsega študije, ter za izvajanje, interpretacijo in poročanje analize inventarja življenjskega cikla (LCI).

3.2.2 Sestava LCI

3.2.2.1 Sistemi izdelkov

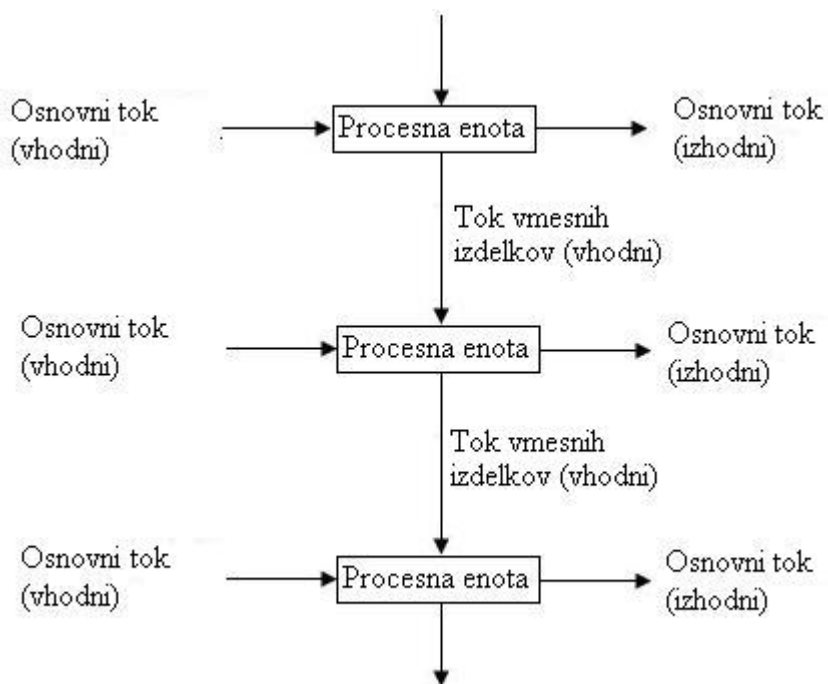


Slika 3.2: Sistem izdelka v analizi inventarja življenjskega cikla (ISO 14041, 1998)

Sistem izdelkov je skupek procesnih enot, ki so povezane s tokom vmesnih izdelkov. Sestavljen je iz procesnih enot, osnovnih tokov, tokov materialov in energije (znotraj in preko omejenega območja sistema) in tokov vmesnih izdelkov (slika 3.2). V standardu je termin »izdelek« mišljen kot enoten pojem za izdelek ali storitev.

3.2.2.2 Procesna enota

Vsak sistem izdelkov lahko razdelimo na več procesnih enot (slika 3.3). Med seboj jih povezujejo tokovi vmesnih izdelkov, z drugimi sistemi izdelkov jih povezujejo tokovi izdelkov, z okoljem pa osnovni tokovi.



Slika 3.3: Primer povezave procesnih enot znotraj sistema izdelka (ISO 14041, 1998)

Primer osnovnega toka, ki vstopa v procesno enoto, je nafta. Primer osnovnega toka, ki izstopa iz procesne enote, pa so emisije v vodo, tla in zrak. Primer tokov vmesnih izdelkov so osnovni materiali.

3.2.2.3 Vrste podatkov

Zbrane, izmerjene, izračunane ali ocenjene podatke uporabimo za vrednotenje vhodnih in izhodnih količin procesnih enot. Podatke razvrščamo glede na:

- energetske vhode, surovinske vhode in vhode pomožnih materialov;
- izdelke;
- emisije v vodo, zrak in tla.

3.2.3 Definiranje cilja in obsega študije

Cilj in obseg študije morata biti jasno definirana in skladna z zahtevami standarda ISO 14040:1997. Ker je LCA iterativna metoda, se večkrat dogaja, da moramo obseg študije glede

na zbrane podatke ponovno opredeliti. Lahko se celo zgodi, da smo zaradi nepredvidenih omejitev prisiljeni spremeniti cilj študije. Vsak tak poseg moramo dokumentirati.

Funkcija izdelka in funkcionalna enota

Funkcionalna enota opisuje funkcijo izdelka, ki ga proučujemo. Njen glavni namen je podati referenčno vrednost, na katero se normalizirajo količine vhodnih in izhodnih podatkov. Primerjanje izdelkov mora biti osnovano glede na isto funkcijo in enako funkcionalno enoto.

Začetne omejitve sistema

Ker smo pri vsaki študiji omejeni glede časa, podatkov in finančnih sredstev, je potrebno določiti, katere procesne enote bodo vključene v študijo. Določiti moramo še, katere obremenitve okolja naj bodo ovrednotene ter zeleno natančnost ocenjevanja. V mnogih primerih se omejitve, sprejete na začetku študije na osnovi preliminarnih rezultatov, izboljšajo.

Opis vrste podatkov

Zahtevanost podatkov, ki si jih želimo, je odvisna od cilja in obsega študije. Podatki so lahko izmerjeni, izračunani ali ocenjeni.

Kriterij upoštevanja vhodnih in izhodnih količin

Med fazo definiranja obsega študije določimo začetni nabor vhodnih in izhodnih podatkov za sestavo inventarja. Z napredovanjem LCA dobivamo nove podatke in ugotovitve, ter s pomočjo iterativnega postopka določimo tiste podatke, ki so najbolj primerni glede na definiran cilj in obseg študije.

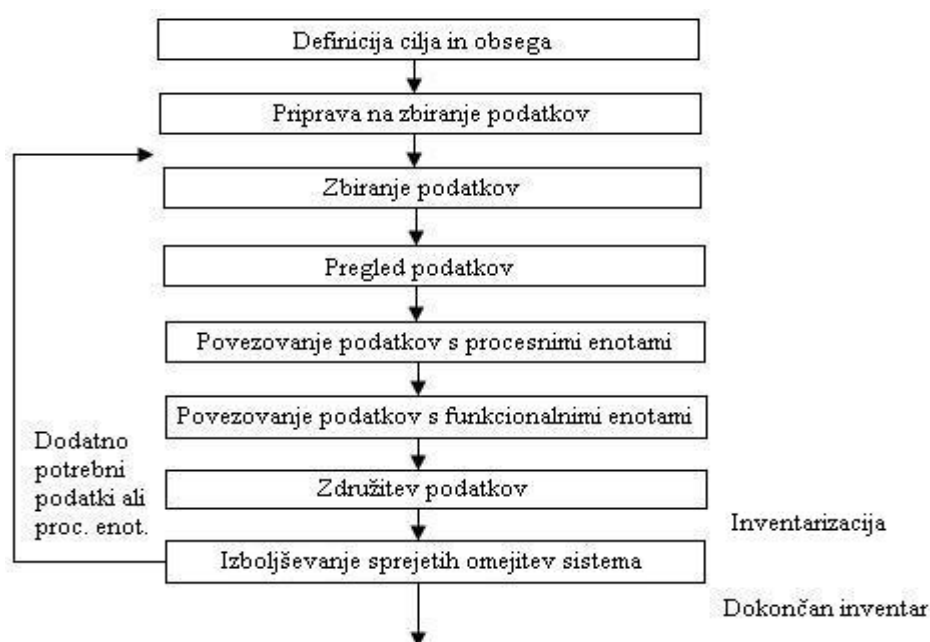
Zahteve podatkov

Opis podatkov je potreben za ugotavljanje zanesljivosti in ustrezno poročanje rezultatov. Glede na zastavljen cilj in obseg študije moramo podrobno opisati zelene podatke (kvantitativne in kvalitativne lastnosti). Zagotoviti moramo ažurnost podatkov (ne smemo uporabiti rezultate starih raziskav) ter lokacijsko in tehnološko ustreznost. Od podatkov se poleg navedenega pričakuje še natančnost, popolnost, ustreznost in doslednost.

3.2.4 Analiza inventarja

3.2.4.1 Splošno

Definicija obsega in cilja nam poda začetni plan za vodenje LCA. Analiza inventarja življenjskega cikla (LCIA) pa obravnava procese zbiranja podatkov in računske postopke. Postopki so opisani na sliki 3.4.



Slika 3.4: Poenostavljena procedura inventarizacije (ISO 14041, 1998)

3.2.4.2 Zbiranje podatkov

Postopki zbiranja podatkov so za vsak modeliran sistem drugačni. Razlikujejo se glede na usposobljenost strokovnjakov, glede na sestavo delovne ekipe in glede na zahtevane rezultate. Zbiranje podatkov zahteva podrobno preučitev vsake posamezne procesne enote, tako da preprečimo večkratno upoštevanje ali izpuščitev določenih informacij.

3.2.4.3 Računski postopki

Po končani fazi zbiranja podatkov potrebujemo računske postopke, s katerimi informacije, zbrane v inventar življenjskega cikla, prevedemo v zelene rezultate. Za kalkulacijo podatkov je potrebnih veliko korakov, ki so opisani v nadaljevanju.

Pregled podatkov

Med zbiranjem podatkov moramo kontrolirati veljavnost podatkov. Morebitna odstopanja zahtevajo iskanje novih informacij, ki ustrezajo določilom podatkov.

Povezovanje podatkov s funkcionalnimi enotami in združitvev podatkov

Procesne enote so medsebojno povezane (slika 3.3), kar omogoča pretehtavanje celotnega sistema. Pogoji, ki ga moramo izpolniti, je, da vsako vrednost pretokov procesnih enot (vseh inputov in outputov) normaliziramo na funkcionalno enoto.

Med procesom združevanja podatkov moramo postopati previdno in delovati v skladu z definiranim ciljem študije. Kategorije vplivov se lahko med seboj združujejo le v primeru, da se nanašajo na enakovredne materije in na podobne okoljske vplive.

Izboljševanje sprejetih omejitev sistema

Omejitve, načrtane na začetku študije, se lahko z analizo občutljivosti (ki ugotavlja vpliv podatkov na končen rezultat) spreminjajo. Rezultati takšne analize se kažejo kot izključitev določene faze življenjskega cikla, posamezne procesne enote, vhodnih ali izhodnih količin v primeru ko je ugotovljeno, da imajo majhen pomen na rezultate študije. Lahko pa se pokažejo tudi potrebe po vključitvi novih procesnih enot ali vhodnih in izhodnih količin.

3.2.4.4 Razporeditev pretokov in izpustov

Analiza inventarja življenjskega cikla temelji na enostavnemu združevanju procesnih enot s pomočjo materialnih in energijskih tokov. Malokateri industrijski obrat deluje na tak način, da proizvaja le en izdelek ali da temelji na linearni predelavi surovin. Večinoma je proizvedenih izdelkov več, poleg tega pa vmesne izdelke reciklirajo ali odlagajo na deponije. Tako se materialni in energijski tokovi in pripadajoče emisije z natančno določenimi postopki razporedijo (dodelijo) na posamezne izdelke. Ker temelji inventar na materialnem ravnotežju med inputi in outputi, moramo pri postopku razporejanja upoštevati osnovne medsebojne odnose in lastnosti teh količin.

3.2.5 Omejitve LCI (pri interpretaciji rezultatov)

Rezultate LCI moramo interpretirati v skladu s ciljem in obsegom študije in pri tem upoštevati analizo podatkov in analizo občutljivosti. Rezultati LCI se nanašajo na podatke inputov in outputov, ne pa na vplive na okolje, zato sama analiza inventarja ne more služiti kot orodje pri postopku primerjanja.

3.2.6 Poročilo študije

Poročilo o rezultatih LCI mora jasno, popolno in natančno seznaniti javnost, ki ji je ta študija namenjena, tako kot to zahteva standard ISO 14040:1997.

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

Standard sestavlja deset glavnih poglavij:

1. obseg in področje uporabe
2. zveze z drugimi standardi
3. definicije
4. osnovni opis LCIA
5. obvezni sestavni deli
6. izbirni sestavni deli
7. analiza podatkov
8. omejitve LCIA
9. primerjalne trditve, ki so dostopne javnosti
10. poročanje in kritična presoja

3.3.1 Obseg in področje uporabe

Ta standard nam daje smernice za vodenje faze vrednotenja vplivov življenjskega cikla (LCIA) ter njene ključne poteze in pripadajoče omejitve. Določa nam zahteve za vodenje faze vrednotenja ter zvezo LCIA z drugimi fazami analize življenjskega cikla (LCA).

3.3.2 Osnovni opis LCIA

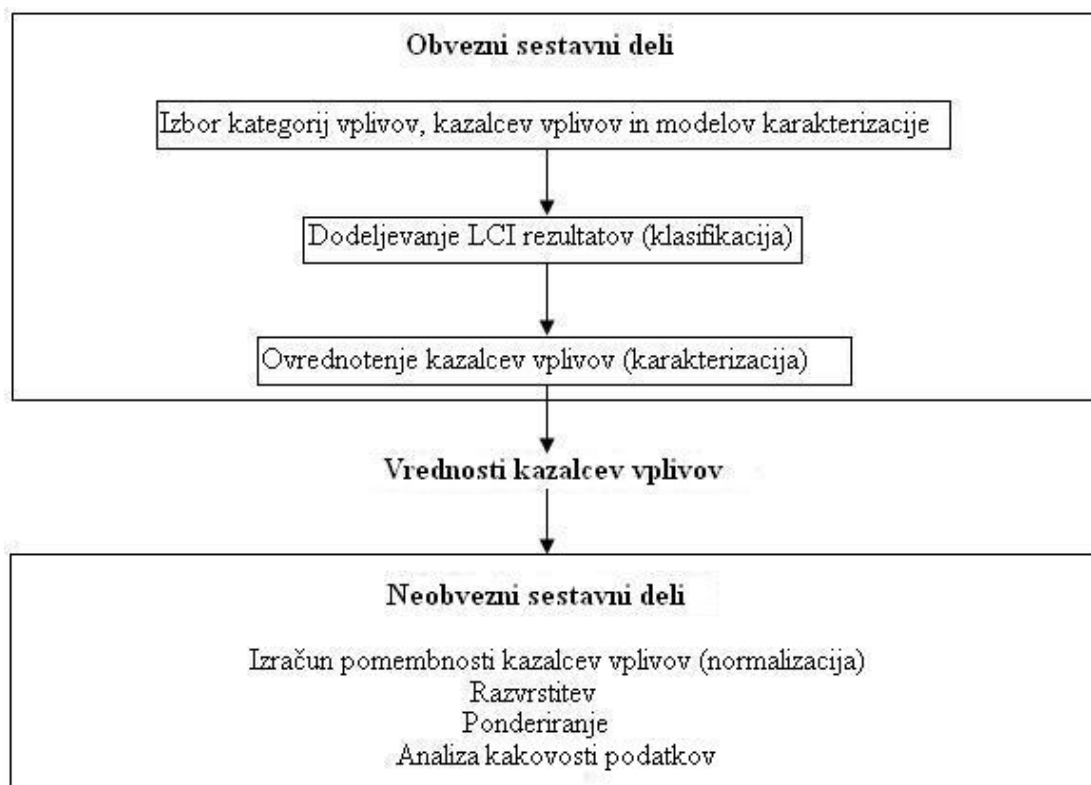
LCIA skuša raziskati vpliv izdelkov na okolje z uporabo kategorij in kazalcev vplivov v navezavi z rezultati LCI. Faza vrednotenja vplivov življenjskega cikla daje uporabne informacije za fazo interpretacije življenjskega cikla.

3.3.2.1 Ključni pojmi LCIA

- V navezavi z drugimi fazami LCA, nam LCIA omogoča celovit pregled nad obravnavanim sistemom glede vpliva na okolje in izrabe surovin.
- LCIA dodeli rezultate LCI kategorijam vpliva. Za vsako kategorijo vpliva se določi kazalec vpliva ter izračuna njegova vrednost. Zbiranje teh vrednosti nam podaja uporabne informacije glede vhodnih in izhodnih količin (inputov in outputov).
- LCIA se od ostalih postopkov razlikuje po tem, da temelji na funkcionalni enoti, tako da lahko črpa informacije, zbrane v predhodno izvedenih fazah življenjskega cikla.

3.3.2.2 Elementi LCIA

LCIA je sestavljena iz obveznih elementov, s katerimi prevedemo rezultate LCI na vrednosti kazalcev vplivov. Obstajajo tudi neobvezni elementi za normalizacijo, razvrstitev in ponderiranje kazalcev vplivov, ter postopki za analizo podatkov.



Slika 3.5: Sestavni deli faze vrednotenja vplivov življenjskega cikla (ISO 14042, 2000)

3.3.3 Obvezni sestavni deli

Rezultat obveznih elementov faze LCIA je nabor kazalcev vplivov za različne kategorije vplivov. Modeli karakterizacije nam pomagajo razumeti odnose med kazalci vplivov in rezultati LCI. Iz njih dobimo karakterizacijske faktorje.

Izbor kategorij vplivov, kazalcev vplivov in modelov karakterizacije

Poglavje podaja navodila in zahteve ob izboru kategorij vplivov, indikatorjev vplivov in modelov karakterizacije:

- izbor mora biti skladen z definiranim ciljem in obsegom študije,
- njihovi viri morajo biti zabeleženi,
- izbor kategorij vplivov, kazalcev vplivov in modelov karakterizacije mora biti upravičen,
- za kategorije in kazalce vplivov moramo poimenovati,

- opisi postopkov računanja faktorjev karakterizacije,
- ustreznost uporabljenega modela karakterizacije mora biti zabeležena.

Pri izboru kategorij vplivov, kazalcev vplivov in modelov karakterizacije podaja standard še nekatera priporočila:

- kategorije in kazalci vplivov ter modeli karakterizacije naj temeljijo na mednarodnih dogovorih, ki jih je sprejela pristojna mednarodna ustanova,
- kategorije vplivov naj s pomočjo kazalcev vplivov predstavijo skupno količino emisij ali izrabe surovin,
- modeli karakterizacije naj bodo (za vsak kazalec vplivov) strokovno in tehnološko utemeljeni.

3.3.3.1 Dodeljevanje rezultatov LCI (klasifikacija)

Poglavje klasifikacije podaja smernice za dodeljevanje rezultatov faze LCI ustreznim kategorijam vplivov. V primeru, da nimamo dovolj podatkov za LCIA (oz. da je teh premalo), se vrnemo ponovno v fazo zbiranja podatkov ali pa prilagodimo cilj in obseg študije.

3.3.3.2 Izračun kazalnikov vplivov (karakterizacija)

S procesom karakterizacije prevedemo rezultate LCI na skupne enote ter jih nato združimo znotraj posameznih kategorij vplivov. Za karakterizacijo se poslužujemo faktorjev karakterizacije.

Primer indikatorja vpliva je infrardeče sevanje. Karakterizacijski faktor se v primeru segrevanja ozračja uporablja za prevedbo vrednosti vseh emisij plinov na skupno enoto (vrednost ogljikovega dioksida). Seštevek vseh prispevkov predstavlja rezultat indikatorjev vpliva.

3.3.4 Izbirni sestavni deli

To poglavje opisuje tri neobvezne sestavne dele LCIA (normalizacija, razvrstitev, ponderiranje).

3.3.4.1 Izračun pomenov indikatorjev vplivov (normalizacija)

Namen je bolje razumeti pomembnost posameznega vpliva obravnavanega izdelka. Izračun pomena indikatorjev vplivov glede na neko referenčno vrednost nam pomaga pri kontroli skladnosti in pripravi rezultatov na nadaljnje procedure (razvrstitev, ponderiranje). Normalizacija poteka na podlagi deljenja izračunanih vrednosti z neko izbrano referenčno vrednostjo.

3.3.4.2 Razvrstitev

Poglavje obravnava proces razvrstitve kategorij vplivov v več skupin. Razvrstitev lahko poteka na osnovi lastnosti vplivov (emisije, izraba surovin, idr.) ali glede na prioriteto vpliva.

3.3.4.3 Ponderiranje

Ponderiranje je postopek prevedbe rezultatov indikatorjev vplivov različnih kategorij vplivov s pomočjo numeričnih faktorjev (uteži). Postopek lahko vključuje tudi združitev ponderiranih vrednosti.

3.3.5 Analiza podatkov

Za boljše razumevanje pomena in natančnosti rezultatov LCIA uporabljamo več metod. Služijo nam za odkrivanje nepomembnih rezultatov, za vodenje samega iterativnega procesa LCIA in da lažje ugotovimo, ali so prisotne pomembne razlike v rezultatih.

3.3.6 Omejitve LCIA

Faza ocenjevanja vplivov življenjskega cikla obravnava tiste okoljske probleme, ki so navedeni znotraj cilja in obsega študije.

3.3.7 Poročanje rezultatov in kritična presoja

To poglavje določa zahteve glede podajanja in kritične presoje LCIA rezultatov. Zahteve se smatrajo kot dodatek tistim v standardih ISO 14040 in ISO 14041.

3.3.7.1 Poročanje rezultatov LCIA

Glede na to, komu so rezultati študije namenjeni, so v tem poglavju podane dodatne zahteve k tistim zahtevam, ki so navedene v standardu ISO 14040:1997.

3.4 Standard ISO 14043:2000, Ravnanje z okoljem – Ocenjevanje življenjskega cikla – Predstavitev rezultatov analize življenjskega cikla

Standard sestavlja devet glavnih poglavij:

1. obseg in področje uporabe
2. zveze z drugimi standardi
3. definicije
4. osnovni opis interpretacije življenjskega cikla
5. identificiranje pomembnih vsebin
6. določitev vrednosti
7. sprejemanje sklepov in priporočil
8. poročanje
9. druga raziskovanja

3.4.1 Obseg in področje uporabe

Obravnani mednarodni standard nam podaja zahteve in priporočila za interpretacijo življenjskega cikla v LCI in LCA študijah.

3.4.2 Osnovni opis interpretacije življenjskega cikla

Cilj interpretacije življenjskega cikla je analiziranje rezultatov, sprejemanje sklepov, razlaga omejitev in podajanje priporočil na osnovi ugotovitev iz prejšnjih faz študij LCA ali LCI ter jasna in razumljiva predstavitev rezultatov on poročanje.

3.4.2.1 Ključni pojmi interpretacije življenjskega cikla

Ključni pojmi so:

- uporaba sistematičnega postopka za identificiranje, označevanje, preverjanje, ocenjevanje in poročanje sprejetih zaključkov, ki temeljijo na ugotovitvah študije, da bi izpolnili zahteve zadanega cilja in obsega študije;
- uporaba iterativnih postopkov tako v fazi interpretacije, kot tudi v ostalih fazah študije.

3.4.2.2 Sestava faze interpretacije

Faza interpretacije življenjskega cikla je sestavljena iz treh ključnih delov (slika 3.6):

- identificiranje pomembnih vsebine rezultatov v LCI in LCIA fazah študije LCA;
- določitev vrednosti (kontrole popolnosti, občutljivosti in skladnosti);
- zaključki, priporočila in poročanje.

3.4.3 Identificiranje pomembnih vsebin

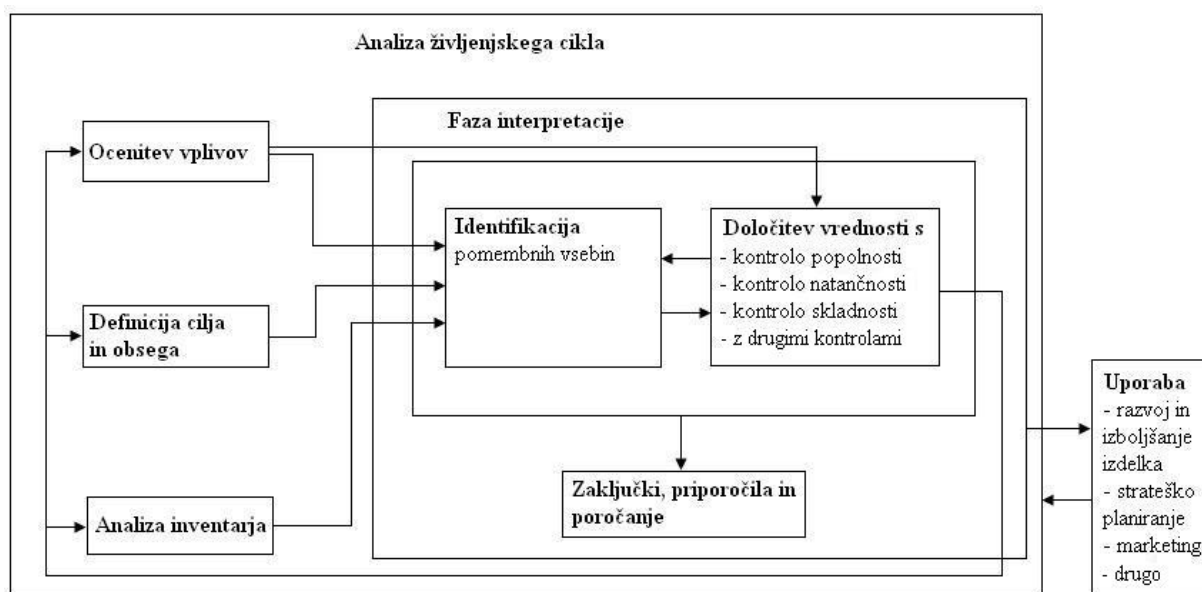
Namen je strukturirati rezultate iz LCI oz. LCIA faze, tako da lahko določimo pomembne vsebine.

3.4.3.1 Določanje pomembnih vsebin

Ko enkrat preverimo skladnosti rezultatov predhodnih faz (LCI, LCIA) z zastavljenim ciljem študije, določimo še pomembnost teh informacij. Pomembne vsebine so lahko kategorije inventarja (energija, emisije, odpadki, idr.), kategorije vplivov (izraba surovin, segrevanje ozračja, idr.) ali drugi pomembni prispevki k rezultatom LCI ali LCIA (posamezne procesne enote, skupine procesnih enot, idr.).

3.4.4 Določitev vrednosti

Namen je vzpostaviti zaupanje in povečati zanesljivost rezultatov analize življenjskega cikla. Rezultati morajo biti predstavljeni interesentom na jasn in razumljiv način. Za izpolnitev zahtev uporabljamo kontrole popolnosti, natančnosti in skladnosti.



Slika 3.6: Medsebojni odnosi med elementi faze interpretacije in ostalimi fazami študije LCA
(ISO 14043, 2000)

3.4.4.1 Kontrola popolnosti

Cilj kontrole je zagotoviti, da so na voljo popolne informacije in podatki, ki jih potrebujemo za interpretacijo. V primeru, da ugotovimo neustreznost ene od informacij, preučimo njeno pomembnost za izvedbo analize, in ustrezno postopamo.

3.4.4.2 Kontrola občutljivosti

Namen je določiti, v kolikšni meri je zanesljivost rezultatov odvisna od negotovosti podatkov ali izračuna kategorije kazalca. Kontrola mora obsegati rezultate analize občutljivosti, ter nakazati, ali je potrebno izboljšati izbrane podatke v LCI, uporabiti primernejše modele vplivov v LCIA ali izvesti nadaljnjo analizo občutljivosti.

3.4.4.3 Kontrola skladnosti

Kontrola skladnosti preverja, ali so uporabljene metode, predpostavke in podatki v času analize življenjskega cikla izdelka ali storitve skladne z zastavljenim ciljem in obsegom študije.

3.4.5 Sprejemanje sklepov in priporočil

Namen te faze interpretacije življenjskega cikla je sprejemanje sklepov in podajanje priporočil zainteresiranim. Priporočila morajo biti osnovana na sprejetih končnih sklepih študije.

3.4.6 Poročanje

Poročilo mora podati popolno in nepristransko razlago študije, kot je podrobno opisano v standardu ISO 14040.

4 UPORABA LCA V GRADBENIŠTVU

V gradbeništvo uporabljamo analizo življenjskega cikla za ugotavljanje obremenitev okolja zaradi gradnje in uporabe gradbenih objektov in drugih gradbenih proizvodov. Splošno priznani okoljski vplivi, ki so vezani na gradbeništvo, so poraba energije, emisije prahu in plinov, hrup, nastanek odpadkov, poraba vode, onesnaževanje z gradbenimi materiali, uporaba zemljišč in poraba naravnih virov (Tam in sod., 2004).



Slika 4.1: Tipične faze življenjskega cikla gradbenih proizvodov (Athena sustainable materials institute, 5.11.2005)

Gradbeništvo ima v primerjavi z drugimi industrijskimi panogami precej posebnosti. Proizvodnja – gradnja – je posamična, ne masovna; v njej sodeluje veliko število udeležencev, je dolgotrajna, vezana na končno lokacijo in ima velik vpliv na okolje. Izdelek – gradbeni objekt – je kompleksen, v njem je vgrajeno veliko število gradbenih proizvodov, grajen pa je za daljše časovno obdobje, med katerim na eni strani vpliva na naravno, na drugi strani pa

tvori grajeno okolje človeka. Proizvodnja gradbenih proizvodov, ki jih vgrajujemo v gradben objekt, je praviloma množična in tako bolj podobna industrijski proizvodnji (Pšunder, 1991).

Analizo življenjskega cikla lahko torej v gradbeništvu načeloma izvajamo na nivoju gradbenega proizvoda / elementa, kjer analiziramo vpliv njegove proizvodnje na okolje, ali pa na nivoju objekta, kjer analiziramo celoten objekt: njegov vpliv med celotno življenjsko dobo na okolje. Zaradi kompleksnosti gradbenega objekta analiza življenjskega cikla v gradbeništvu še ni dodobra uveljavljena. V nadaljevanju bomo predstavili nekaj primerov, kjer so različni raziskovalci uporabili LCA za ovrednotenje vplivov na okolje pri proizvodnji in uporabi različnih gradbenih objektov ali njihovih komponent.

4.1 Uporaba LCA pri gradnji cest

Celovita izvedba LCA metode velikokrat zahteva precej časa in denarja. Zato za analizo vpliva specifičnega izdelka ali storitve na okolje večkrat uporabljamo izpopolnjene (hibridne) izvedbe LCA, ki so optimizirane za točno določen primer uporabe ali za iskani vpliv. S tem zmanjšamo količino potrebnih podatkov in skrajšamo čas, potreben za potek analize. Hibridne izvedbe LCA so pogoste tudi v gradbeništvu. Za primer uporabe analize življenjskega cikla pri gradnji cest povzemamo podatke in rezultate, predstavljene v prispevku (Treloar in sod., 2004).

4.1.1 Opis primera uporabe LCA pri gradnji cest

Primer temelji na opazovanju porabe energije pri gradnji osmih različnih tipov cestnih konstrukcij. Kljub večjim vrednostim v zadnjih letih, znaša delež gradnje cest približno 10% vrednosti vseh gradbenih objektov (Treloar in sod., 2004). Obremenitev okolja se nanaša v začetni fazi na gradnjo ceste, kasneje pa na njeno uporabo in vzdrževanje. Prevoz po cestah predstavlja glavni način transporta (približno 90%), zato ima transport pomemben delež porabe energije pri uporabi cest. Analogno upoštevamo k življenjskemu ciklu cest porabo energije gradbene mehanizacije pri izdelavi in vzdrževanju cestnih teles.

4.1.2 Privzete vrednosti

V predstavljenem primeru so upoštevali povprečje 10.000 vozil dnevno (od tega 90% osebnih avtomobilov in 10% tovornjakov). Nadalje je privzeta še 4% letna potreba po sanaciji. Opazovanje potrošnje energije zajema izdelavo, uporabo in vzdrževanje cest ter proizvodnjo, uporabo, vzdrževanje in odstranitev vozil po uporabi. Potrebno količino energije za proizvodnjo posamezne vrste cest dobimo na podlagi znane recepture in podatkov o potrebni količini energije za proizvodnjo posamezne sestavne surovine (beton, armatura, asfalt, idr.). S privzeto povprečno porabo goriva (10 l / 100 km za avtomobile in 27,5 l / 100 km za tovorna vozila), povprečnimi vrednostmi novih vozil ter predvidenimi stroški za njihovo vzdrževanje je zajeta tudi energija med uporabo cestišča.

4.1.3 Ugotovitve porabe energije pri gradnji cest

Preglednica 4.1: Pregled vgrajenih količin energije v različne vrste cest na odseku 5 km
(Treloar in sod., 2004)

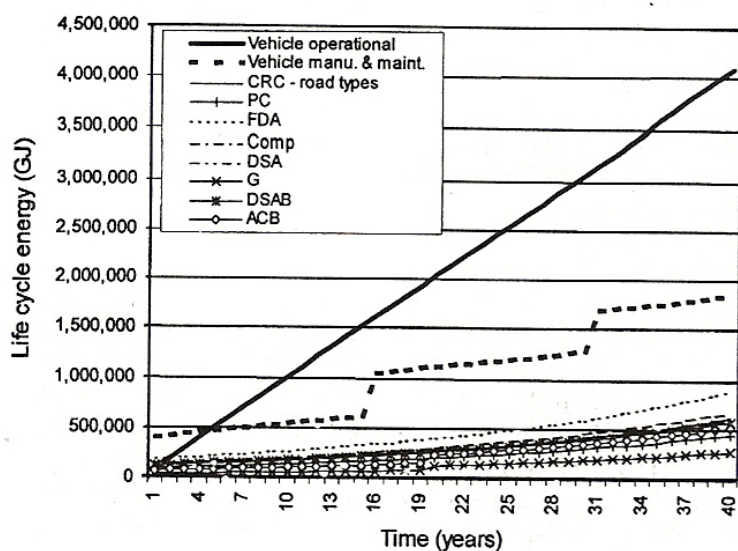
Vrsta ceste	Energija, vgrajena v cestišče [GJ]	Privzeta doba živ. cikla [leta]
Vozišče iz prednapetega arm. betona (montažno, suhi postopek)	153,987	40
Klasično armirano betonsko vozišče (mokri postopek)	100,028	40
Eno-slojno asfaltno vozišče	194,980	40
Večslojno asfaltno ali betonsko vozišče	149,759	40
Vozišče iz bitumenske mešanice z dodatki	135,419	40
Makadam	42,204	20
Vozišče iz bit. mešanice z dodatki na vezanih spodnjih nos. plasteh	128,799	40
Vozišče iz bitumenskega betona na vezanih spodnjih nosilnih plasteh	78,271	20

Glede na vrsto izgrajene ceste so porabljene količine energije različne (preglednica 4.1). Energija, ki jo porabijo avtomobili in tovornjaki znaša 102.270 GJ letno (od tega 76,6% avtomobili, 23,4% pa tovornjaki), oz. 4.090.800 GJ v celotnem življenjskem ciklu ceste. Glede na upoštevano vrednost novih avtomobilov (30.000 EUR) in tovornjakov (120.000

EUR) ter glede na predvideno dobo njihove amortizacije (15 oz. 18 let) znaša povprečna količina energije 1.087.751 GJ (za vse ceste enako). Naslednji dejavnik, ki prispeva k porabi energije, je vzdrževanje vozil. Ta se z staranjem vozil veča in znaša na koncu življenjske dobe 609.600 GJ (za vse ceste enako).

Pregled rezultatov nam pokaže, da se vrednosti posameznih prispevkov preko življenjskega cikla močno spreminjajo. V prvem letu je razpored porabljene energije naslednji:

- 64% proizvodnja vozil,
- 21% gradnja ceste (za primer vozišča iz prednapetega armiranega betona),
- 15% uporaba vozil.



Slika 4.2: Prikaz rezultatov porabe energije pri različnih izvedbah ceste (*Vehicle operational* – uporaba vozil; *Vehicle manu. & maint.* – izdelava in vzdrževanje vozil; *CRC* - Vozišče iz prednapetega armiranega betona (montažno, suhi postopek); *PC* - Klasično armirano betonsko vozišče (mokri postopek); *FDA* - Enoslojno asfaltno vozišče; *Comp.* - Večslojno asfaltno ali betonsko vozišče; *DSA* - Vozišče iz bitumenske mešanice z dodatki; *G* – Makadam; *DSAB* - Vozišče iz bitumenske mešanice z dodatki na vezanih spodnjih nosilnih plasteh; *ACB* - Vozišče iz bitumenskega betona na vezanih spodnjih nosilnih plasteh),
(Treloar in sod., 2004)

Na koncu 40 letnega simuliranega življenjskega cikla je skupna količina porabljene energije enaka 6.571.635 GJ (za primer vozišča iz prednapetega armiranega betona), oziroma po deležih:

- 62% uporaba vozil (v prvem letu na tretjem mestu)
- 28% proizvodnja in vzdrževanje vozil (v prvem letu na prvem mestu)
- 10% gradnja in vzdrževanje vozil

V začetku je bila najpomembnejša faza uporabe cest proizvodnja vozil. Približna ocena porabljene energije pri proizvodnji enega avtomobila je med 221 in 273 GJ. V celotni 40 letni dobi pa ima največji vpliv uporaba vozil. Življenjski cikel ne zajema faze odstranitve proizvoda (ceste) po uporabi, ker se ceste (običajno) ne odstranjujejo, temveč le sanirajo.

Cesta z najmanjšo izračunano potrebo po energiji (brez upoštevanja vpliva vozil) je po pričakovanju makadam. Slaba lastnost te ceste je da bi jo vozeči tovornjaki precej načeli. Cesta z največjo porabljeno količino energije je enoslojno asfaltno cestišče. Nadaljnje raziskave nam pomagajo pri izbiri ustreznega tipa ceste. Poleg vpliva objektov na okolje moramo upoštevati še strukturo prometa ter pričakovane obremenitve.

4.2 Uporaba LCA za primerjavo izolacijskih materialov

Izolacijski materiali v zgradbah prispevajo največji delež k zadrževanju toplote v bivalnih prostorih, posredno pa zaradi manjše potrebe po ogrevanju (t.j. manjše porabe fosilnih ali drugih vrst goriva) ugodno vplivajo na emisijo plinov in segrevanje ozračja. V letih 1995–96 je bila letna poraba energije za ogrevanje povprečnega gospodinjstva v Evropski uniji 50.000 MJ. Ta številka predstavlja 68% porabljene celotne energije povprečnega gospodinjstva.

Med najbolj uporabljenimi izolacijskimi materiali so kamena volna, celulozna volna in lanena vlakna. Zaradi različnega izvora materialov in posredno različnih življenjskih ciklov je medsebojna primerjava in ugotavljanje vplivov na okolje posebej zanimiva. Za primerjanje

izolacijskih materialov z uporabo LCA predstavljamo podatke, ki so jih podali Schmidt in sod. (2004).

Preglednica 4.2: Ocena vpliva proizvodnje 1 kg kamene volne na okolje (Schmidt. in sod., 2004)

Kategorija vpliva	Količina	Enota
Segrevanje ozračja	1.223	g (CO ₂ protivrednosti)
Zakisovanje	10,4	g (SO ₂ protivrednosti)
Nastajanje fotokemičnega ozona	3,9	g (C ₂ H ₄ protivrednosti)
Trdni odpadki	45	g inertnih odpadkov
Nevarni odpadki	0,4	g nevarnih odpadkov
Poraba energije	17,5	MJ
Poraba vode	3.300	g vode

Preglednica 4.3: Ocena vpliva proizvodnje 1 kg celulozne volne na okolje (Schmidt in sod., 2004)

Kategorija vpliva	Enota	Količine pri različnih pogojih odlaganja	
		100% stopnja recikliranja	20% sežgano 80% reciklirano
Segrevanje ozračja	g (CO ₂ protivrednosti)	819	645
Zakisovanje	g (SO ₂ protivrednosti)	5,5	5,5
Nastajanje fotokem. ozona	g (C ₂ H ₄ protivrednosti)	0,2	0,3
Trdni odpadki	g inertnih odpadkov	30	30
Nevarni odpadki	g nevarnih odpadkov	1,7	1,6
Poraba energije	MJ	26,2	24
Poraba vode	g vode	822	822

Preglednica 4.4: Ocena vpliva proizvodnje 1 kg lanenih vlaken na okolje (Schmidt in sod., 2004)

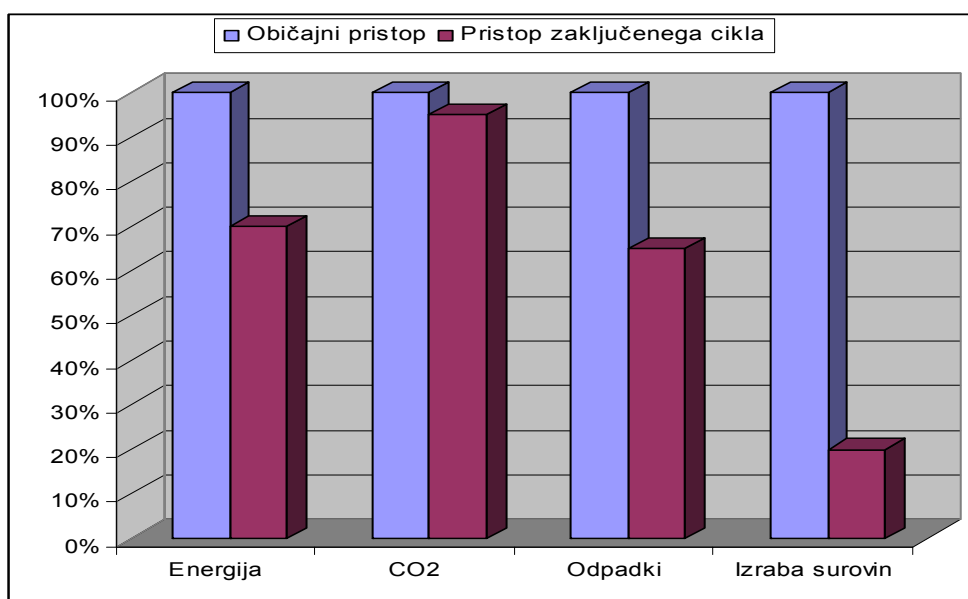
Kategorija vpliva	Enota	Količine pri različnih pogojih odlaganja	
		100% stopnja recikliranja	20% sežgano 80% reciklirano
Segrevanje ozračja	g (CO ₂ protivrednosti)	2357	2310
Zakisovanje	g (SO ₂ protivrednosti)	16,8	17,1
Nastajanje fotokem. ozona	g (C ₂ H ₄ protivrednosti)	0,5	0,6
Trdni odpadki	g inertnih odpadkov	122	122
Nevarni odpadki	g nevarnih odpadkov	0,4	0,4
Poraba energije	MJ	49,7	47,6
Poraba vode	g vode	5771	5771

Podatki, zbrani v preglednicah 4.2, 4.3 in 4.4 kažejo, da ima med primerjanimi izolacijskimi materiali najugodnejši vpliv na obremenjevanje okolja celulozna volna, lanena vlakna pa so tisti material, pri katerem so negativni vplivi najvidnejši; kamena volna pa se nahaja nekje vmes. Drugače je pri skupni količini porabljene energije. Najbolj varčno je pridelovanje kamene volne, sledita pa mu celulozna volna in lanena vlakna. Človeku najprijaznejši (večkrat testiran, nima kancerogenih sestavin) izolacijski material se izkaže proizvodnje kamena volna.

Razlike med obravnavanimi izolacijskimi materiali imajo zelo majhen pomen vpliva na okolje v primerjavi s prednostmi ob njihovi uporabi. Z izoliranjem zgradb prihranimo tolikšno količino energije, ki ustreza približno stokratnemu (negativnemu) vplivu na okolje, ki ga povzroči njihova proizvodnja.

4.3 Uporaba LCA za ugotavljanje prednosti gradnje zaprtega cikla AB konstrukcij

S projektom gradnje zaprtega cikla raziskujejo strokovnjaki možnosti za uvedbo novih pristopov k upravljanju z gradbenim objektom in odpadki rušenja, v katerem bi bil cikel betona in zidakov zaključen. V nadaljevanju so povzete ugotovitve prispevka Schuurmans in sod. (2002) v zvezi z vplivom na okolje, ki ga ima vključevanje betona in zidakov v celovit sistem recikliranja.

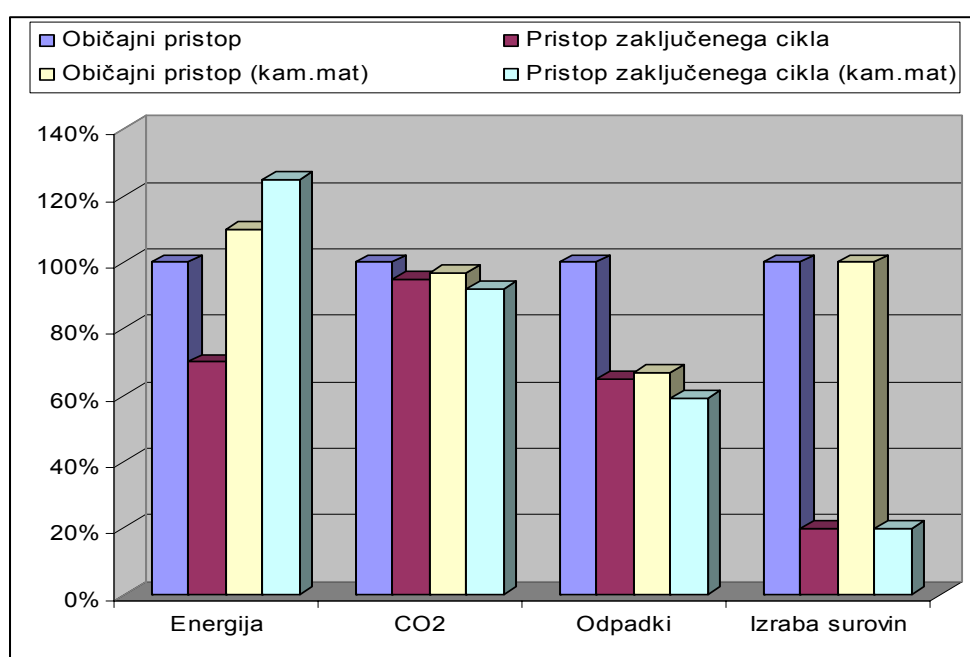


Slika 4.3: Primerjava rezultatov med standardnim pristopom upravljanja z odpadki in pristopom zaprtega cikla gradnje (Schuurmans in sod., 2002)

Namen raziskave je bil ugotoviti razlike (prednosti in slabosti) med upravljanjem enega milijona ton odpadkov pri rušenju. V prispevku so primerjali pristopa običajnega upravljanja in pristop gradnje zaključenega cikla. Zaključen cikel temelji na uporabi recikliranih materialov v proizvodnji zidakov, betona in cementa. V primeru običajnega pristopa se reciklirani materiali uporabljajo v nevezanih plasteh, za izdelavo zidakov, betona in cementa pa se uporabljajo na novo pridobljene surovine (z izkopi). V primeru zaprtega cikla se temeljenja cest in polnilni materiali proizvajajo iz novih surovin.

Kljub temu, da je bila za študijo namenjena omejena količina denarnih sredstev in da je bil inventar sestavljen le iz v naprej znanih podatkov iz industrije, so dobljeni rezultati zelo

zanimivi (slika 4.3). V vseh obravnavanih elementih (poraba energije, emisije CO₂, proizvedeni odpadki in izraba surovin), se izkaže pristop zaprtega cikla gradnje kot dobra rešitev za zmanjševanje negativnih vplivov na okolje. Njegova glavna prednost je v tem, da vsebujejo materiali, namenjeni reciklaži, večji delež boljše gorljivih snovi. V običajnem pristopu se bolj gorljivi materiali odlagajo na deponijo, manj gorljivi pa reciklirajo (potrošimo večje količine energije). Prednost pri izrabi surovin opravičujejo manjše potrebe po novih materialih.



Slika 4.4: Primerjava rezultatov med standardnim pristopom upravljanja z odpadki in pristopom zaključenega cikla gradnje (enaka količina gorljivih snovi), (Schuurmans in sod., 2002)

Študijo pristopa zaprtega cikla gradnje so izdelali za primer reciklaže kamenih materialov. Rezultati so zato »olepšani« zaradi vpliva gorljivih odpadkov. Za boljše razumevanje je LCA preračunana še ob predpostavljani enaki količini gorljivih odpadkov (slika 4.4). V tem primeru zahteva pristop zaključenega tipa gradnje večjo količino energije, podobne vrednosti za emisije CO₂ in proizvedene odpadke, boljši pa je z vidika izrabe surovin. Podobna količina emisij CO₂ (ob večji porabi energije), je predvsem posledica recikliranja materialov za proizvodnjo cementa.

4.4 Povezovanje LCA in stroškovne analize življenjskega cikla (LCC, Life Cycle Cost Analysis)

Poleg analize vpliva izdelka na okolje je za popoln proces primerjanja alternativnih variant priporočljiva tudi preverba ekonomične ustreznosti izdelkov, ki pa ni definirana znotraj namena in cilja standardno uporabljene metode LCA. Prav tako standardi serije ISO 14040 ne predvidevajo združevanja LCA metodologije s stroškovno analizo. Ne glede na podobnost imen, se LCA in LCC precej razlikujeta (preglednica 4.5).

Preglednica 4.5: Razlike med metodama LCA in LCC (Norris, 2001)

	LCA	LCC
Namen	Primerjava vplivov različnih izdelkov na okolje.	Določanje ekonomskih učinkovitosti različnih naložb in poslovnih odločitev.
Procesi, ki so obravnavani kot del življenjskega cikla.	Vsi procesi povezani s fizikalnim živ. ciklom proizvoda (od zibelke do groba).	Procesi, ki prinašajo dobiček ali izgubo med življenjsko dobo izdelka.
Upoštevani pretoki	Energijski in materialni pretoki	Stroškovni in dobičkonosni denarni pretoki
Uporabljene enote	Masa in energija (tudi volumen, idr.)	Euro, dolarji, tolarji, idr.
Časovno postopanje in obseg	Časovno usklajevanje procesov se običajno ne upošteva.	Časovno usklajevanje ima velik pomen.

Razlike izhajajo iz različnih ciljev obeh študij. Analiza življenjskega cikla ugotavlja vpliv, ki ga imajo izdelki ali storitve na okolje med njihovo proizvodnjo, uporabo, vzdrževanjem in upravljanjem po uporabi. S stroškovno analizo pa skušamo ugotoviti vplive poslovnih in finančnih odločitev na ekonomičnost izdelka ali storitve, kar v gradbeništvo običajno pomeni določanje skupnih stroškov gradnje, uporabe in vzdrževanja med uporabo obravnavanega objekta. V zadnjih letih se v računu stroškov življenjskega cikla, vse pogosteje upošteva tudi stroške odstranitve objekta.

Trenutno obstaja več metod, ki upoštevajo integracijo LCA in LCC. Med najbolj uporabljenimi sta orodji PTLaser in TCAce, ki so jih razvili v podjetju Sylvatica. V nasprotju s starejšimi, temeljijo omenjene metode na združevanju LCA in LCC v njunem celotnem obsegu (v predhodno izdelanih študijah so združevali del LCC z celotno LCA ali obratno). Z omenjenim pristopom pridemo do orodja, ki nam pomaga pri izbiranju med alternativnimi izdelki z upoštevanjem tako okoljskih zahtev kot ekonomičnosti (Norris, 2001).

5 PRIMER: ANALIZA VPLIVA PROIZVODNJE KONSTRUKCIJSKIH SKLOPOV NA OKOLJE

Računalniški programi so v današnjem času postali eno izmed najbolj uporabljenih orodij za reševanje zapletenih matematičnih enačb ter za hitro in zanesljivo pridobivanje želenih informacij in rezultatov. Podobno kot na ostalih področjih, dobimo tudi v gradbeništvu vrsto programov, ki se uporabljajo za različne namene:

- računanje nosilnosti konstrukcij,
- računanje koeficientov varnosti zemljin,
- projektiranje cestnih in železniških tras,
- računanje potresne varnosti konstrukcij,
- drugi programi.

Na področju analize vpliva proizvodnje, uporabe in odstranitve konstrukcijskih betonskih in armiranobetonskih elementov na okolje obstaja program EcoConcrete. Program je bil izdelan pod okriljem Evropske zveze proizvajalcev transportnega betona (European Ready Mix Concrete Association, ERMCO). V projektu izdelave in razvoja programa so sodelovala številna evropska gradbena podjetja, ki so prispevala podatke za LCI, in različne institucije.

Omenjeni program smo uporabili za analizo dveh konstrukcijskih elementov. Raziskovali smo vpliv posameznih proizvodnih dejavnikov (vrsta prevoza, vrsta sestavin,...) na skupno porabo energije in materialov ter posledično na količino proizvedenih odpadnih snovi in emisij v vodo, zrak in tla.

5.1 Opis programa EcoConcrete

EcoConcrete je računalniški program za analizo vplivov konstrukcijskih sklopov na okolje. V svoji bazi ima deset različnih armiranobetonskih konstrukcijskih elementov ter tri LCA metode. Program zaženemo s pomočjo Microsoft Excela.

Na spodnji sliki vidimo, da so podatki vsebovani v programu EcoConcrete na najvišjem nivoju procesa združevanja (life cycle impact assessment, LCIA). Razvidno je tudi, da podatke iz LCIA ne moremo razdružiti v inventar življenjskega cikla (life cycle inventory, LCI) ali v katero drugo fazo. Podatke v LCIA so pridobimo na podlagi LCA programa SimaPro.



Slika 5.1: Obdelava podatkov v programu *EcoConcrete* (*EcoConcrete Course Book 1.1, 2003*)

Potek obdelave podatkov znotraj programa bomo razložili na enostavnem primeru emisij žveplovega dioksida v zrak, ki je vezan na proizvodnjo in prevoz kamenega agregata za proizvodnjo betona, in na proizvodnjo armiranega betona. Žvepleni dioksid, SO_2 , povzroča v ozračju onesnaževanje ter pojav kislega dežja, kar neugodno vpliva na okolje in posredno na ljudi. Proizvodnja električne energije v elektrarnah je proces, pri katerem pride do emisij plina SO_2 . Ta električna energija se porablja v gramoznici za proizvodnjo kamenega agregata. Skupna količina izpuhtlega SO_2 , ki se tvori ob proizvodnji kamenega agregata, zajema količino ob proizvodnji energije ter količino pri prevozu z vozili na fosilna goriva v kamnolomu.

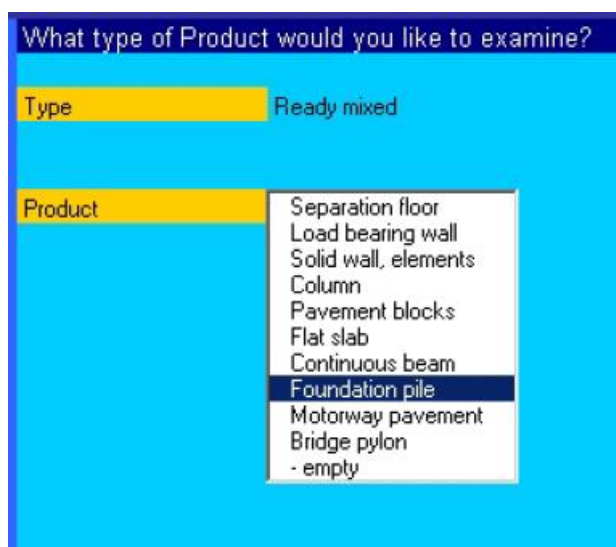
Kameni agregat predstavlja enega od osnovnih sestavnih materialov betona, katerih proizvodnja ima prav tako za stransko posledico nastanek določene količine SO_2 . Nadalje nastaja SO_2 tudi med izvajanjem sklopa procesov proizvodnje armiranega betona. Proizvodnja armiranega betona torej povzroči nastanek količine v zrak emitiranega plina, ki je vsota vseh

delnih količin SO₂, ki nastanejo v posameznih fazah proizvodnje armiranega betona. Omenjen skupni vpliv je upoštevan v programu.

5.1.1 Vsebina programa

Program vsebuje vnaprej privzete lastnosti za deset konstrukcijskih elementov (slika 5.2a):

- plošče (flat slab),
- neprekinjeni nosilci (continuous beam),
- piloti, temelji (foundation pile),
- cestišče (motorway pavement),
- mostni steber (bridge pylon),
- medetažna plošča (separation floor),
- nosilna stena (load bearing wall),
- masivni zid (solid wall, elements),
- stebri (column),
- tlakovci (pavement blocks).



Slika 5.2: Izbira primera iz programa EcoConcrete (EcoConcrete Course Book 1.1, 2003)

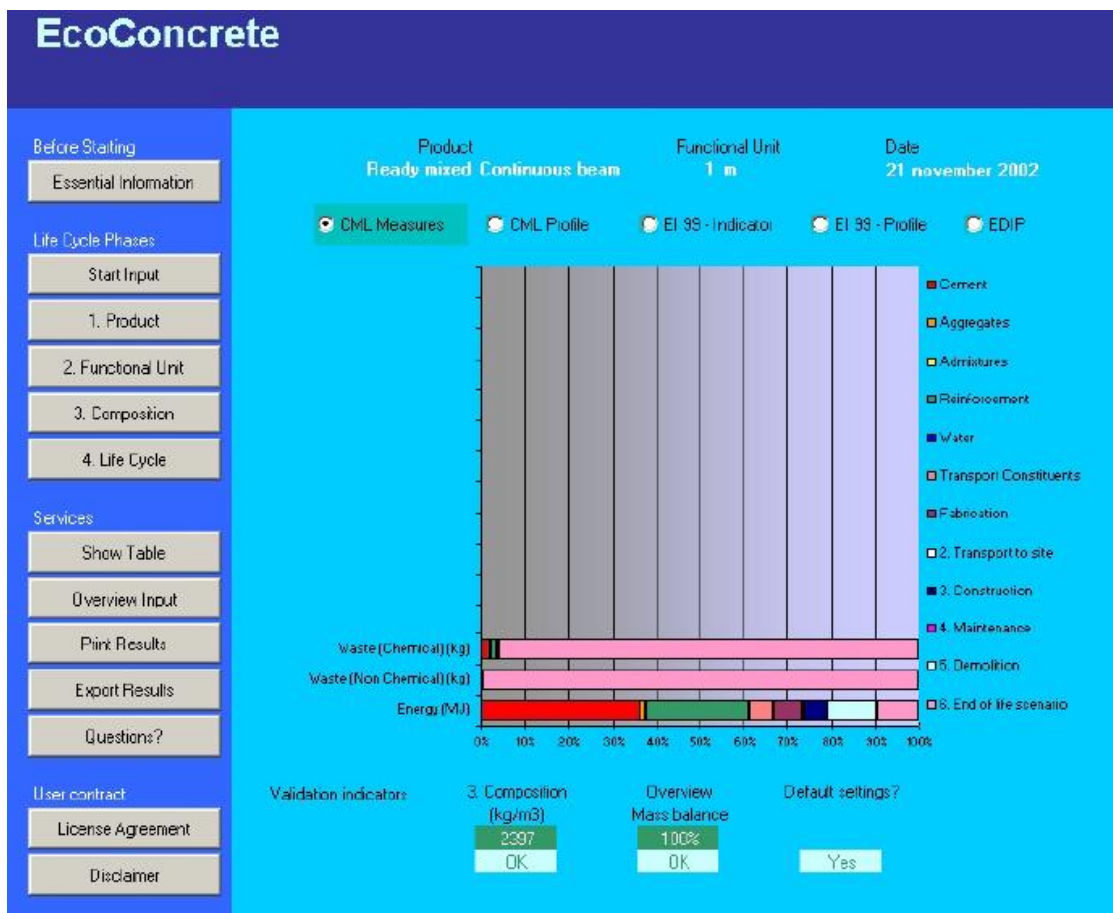
EcoConcrete nam omogoča, da izbrani konstrukcijski sklop definiramo glede na naše potrebe. Za podajanje zahtev imamo v programu štiri podatkovne liste, kjer definiramo:

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

Na podlagi podanih vrednosti program izračuna vpliv funkcionalne enote izbranega elementa na okolje. Vplivi so podani kot skupek številskih vrednosti naslednjih okoljskih indikatorjev:

- porabljena energija,
- izraba aboitskih virov,
- generirani nekemični odpadki,
- generirani kemični odpadki,
- strupenost za človeka,
- ekotoksičnost za sladko vodo (tekočo),
- ekotoksičnost za sladko vodo (sediment),
- ekotoksičnost zemljine,
- zakisovanje tal,
- evtrofikacija,
- sprememba podnebja,
- tvorjenje foto-oksidantov (C_2H_4),
- tanjšanje stratosferske ozonske plasti.

V programu EcoConcrete se pojavlja pri izrazih za odpadke izraz »kemični« in »nekemični« odpadki. V navodilih ni eksplicitno navedeno, kaj šteje pod eno in kaj pod drugo kategorijo. Navedena klasifikacija v Sloveniji ni standardna, vendar predvidevamo, da ustreza izraz »nekemični odpadek« izrazu »inertni odpadek«.



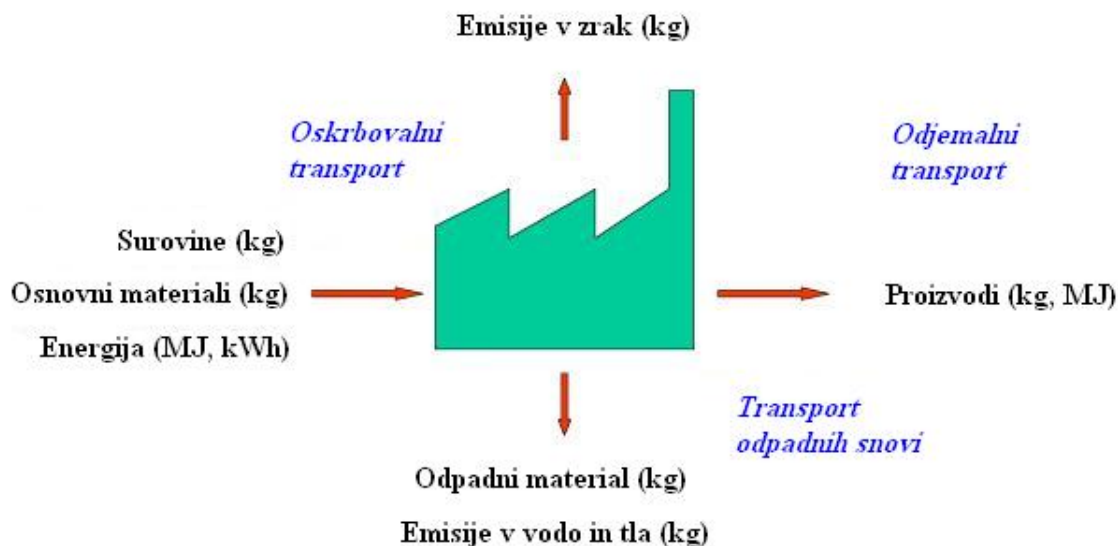
Slika 5.3: Grafični prikaz rezultatov v programu EcoConcrete (EcoConcrete Course Book 1.1, 2003)

Glede na zahteve lahko izbiramo med CML 2000, Eco-indicator 1999 ter EDIP metodologijo izračunov (navedene metodologije so na kratko predstavljene v razdelku 5.1.3). Rezultate lahko predstavimo grafično ali tabelarično. Rezultati na grafikonih so v relativnih vrednostih, v tabelah pa so podane absolutne vrednosti. Te rezultate lahko izvozimo v drug program ali preprosto natisnemo na papir.

5.1.2 Metodologije za ocenitev vpliva na okolje

Podobno kot za druge programe potrebujemo pri uporabi programa EcoConcrete za izračun rezultatov vhodne podatke. Izračun temelji na pretoku energije in materialov. To pomeni, da je bistvenega pomena količina energije in materialov, ki jih uporabimo za proizvodnjo nekega

izdelka ali objekta. Rezultati analize so številске vrednosti za okoljske indikatorje, t.j. porabo energije, abiotičnih virov, količine v zrak emitiranih plinov in količine odloženih odpadnih materialov.



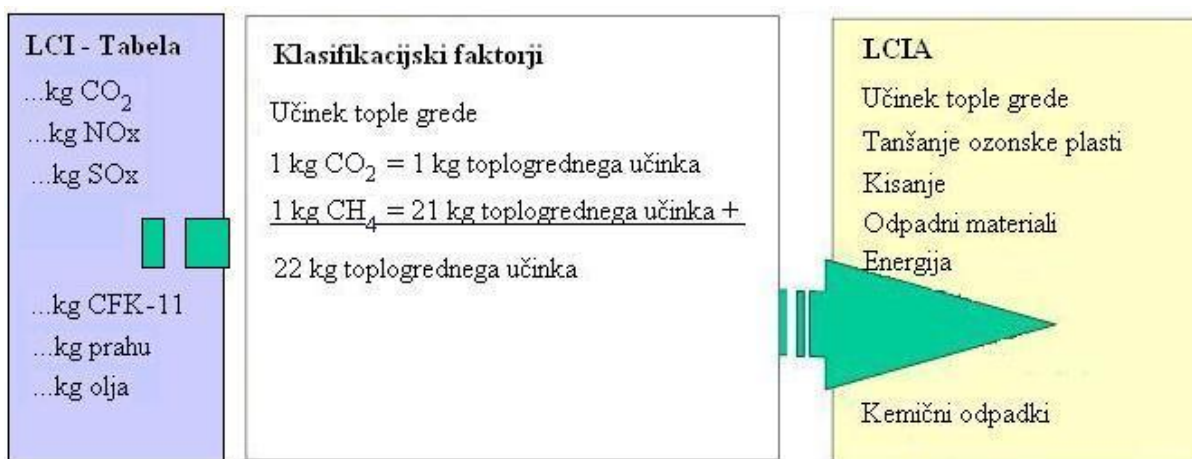
Slika 5.4: Pretok energije in materialov (EcoConcrete Course Book 1.1, 2003)

Pri podajanju podatkov o izbranem konstrukcijskem sklopu, vrsti materialov in poteku življenjskega cikla uporabljamo za energijo enoto MJ ter za maso materiala enoto kg. Vrednosti se nato prevedejo s t.i. inventarizacijo (LCI) (glej razdelek 2.3).



Slika 5.5a: Obdelava parametrov (EcoConcrete Course Book 1.1, 2003)

Na podlagi podatkov, ki so zbrani v inventarju življenjskega cikla (LCI), lahko izdelamo izračun vplivov na okolje. Zaradi boljše preglednosti sorodne količine združimo ter seštevamo na osnovi klasifikacijskih faktorjev. Z njihovo pomočjo lahko, na primer, seštejemo prispevke vseh izpuštenih plinov k učinku tople grede.



Slika 5.5b: Obdelava parametrov (EcoConcrete Course Book 1.1, 2003)

5.1.3 Metodologija v programu EcoConcrete

Za analizo vpliva objektov na okolje obstaja več metodologij. Program EcoConcrete temelji na metodi CML, ki so jo razvili na Centre of environmental sciences univerze v Leidnu. Poleg te sta v program vključeni tudi metodi EDIP (Chapman and Hall, 1997) in Eco-Indicator (Pre Consultants, Amersfoort, Nizozemska, 1999). Uporabljamo ju lahko za kontrolo rezultatov, ki smo jih dobili z metodo CML-2. Za vse tri metode velja, da:

- izpolnjujejo zahteve standarda ISO 14042,
- se pogosto uporabljajo,
- so priznane v Evropi,
- so še vedno v fazi razvoja.

5.1.4 Koncept funkcionalne enote

Osnova za izvedbo analize življenjskega cikla je koncept funkcionalne enote. Ob neustreznem podajanju podatkov, nam program namreč vrne napačne rezultate. Poleg boljše preglednosti z

uporabo količin na enoto mere (m^2 , m^3 , kom, ...) ima uvedba funkcionalne enote še eno bistveno prednost. Določa namreč učinek proizvoda, ki ga analiziramo, da bi ugotovili njegov okoljevarstveni vpliv. Analiza življenjskega cikla (LCA) brez upoštevanja koncepta funkcionalne enote in njene nedvoumne definicije ne more biti natančna.

Program EcoConcrete vsebuje deset v naprej določenih funkcionalnih enot. Ena izmed njih je masivna stena, ki je definirana kot:

- 1 m^2 masivne stene običajnih dimenzij,
- z možnostjo uporabe v zunanosti in notranosti,
- z določeno nosilnostjo.

5.2 Analiza konstrukcijskih elementov medetažne plošče in masivne stene

Z računalniškim programom smo podrobno analizirali konstrukcijska elementa medetažne plošče in masivne stene. V obeh primerih smo analizirali izhodiščni, referenčni primer, za katerega smo izbrali podatke o lastnostih elementov, oddaljenosti skladišč cementa in agregata od betonarne, oddaljenosti kamnoloma, od koder dovažamo agregat za proizvodnjo izbranih elementov, vrsti uporabljenih prevoznih sredstev, življenjski dobi elementov, stopnji recikliranja uporabljenih materialov, idr.

Po izvršeni analizi izhodiščnega primera smo izvedli analizo občutljivosti za naslednje dejavnike:

- stopnjo recikliranja materialov,
- oddaljenost gradbišča,
- sestavo betonske mešanice,
- ravnanje z objektom po končani uporabi.

V analizi občutljivosti smo torej spreminjali posamezne vhodne parametre ter opazovali, kako ta sprememba vpliva na končen rezultat analize.

5.2.1 Masivna stena

5.2.1.1 Izhodiščni primer

Kot izhodišče za analizo masivne stene smo uporabili v naprej podan primer, ki ga ponuja program. Vrednosti, označene s krepkim tiskom, vstavi uporabnik neposredno, in jih je moč spreminjati med analizo konstrukcijskih sklopov. Ostale vrednosti so vnaprej podane s strani programa.

Pri obravnavanem primeru se kot prevozno sredstvo, za dostavo surovin v betonarno ter za dostavo betonske mešanice do gradbišča, uporabljajo tovornjaki različnih kapacitet. Vnaprej določena razdalja med betonarno in gradbiščem je 100 km. Viri osnovnih materialov za beton (agregat, cement, plastifikatorji) so od betonarne oddaljeni 80 km (grob in fin agregat), 100 km (cement) in 250 km (plastifikatorji). Privzeta dolžina prevoza uporabljene armature do gradbišča je 100 km.

Preglednica 5.1: Vhodni podatki (masivna stena, izhodiščni primer)

Funkcionalna enota	Vrednost	Vred. / m²
Obravnavana površina	1 m ²	
Pripadajoča masa bet.meš.	0,508 t	
Sestava bet. mešanice		
CEM I 52,5	365 kg/m³	73 kg
Prevoz cementa (tovornjak 28 t)	100 km	
Grobi agregat	800 kg/m³	160 kg
Fini agregat	1200	240 kg
Prevoz agregata (tovornjak 28 t)	80 km	
Plastifikatorji	3,3 kg/m³	1 kg
Prevoz plastifikatorjev (tovornjak 28 t)	250 km	
Rebrasta armatura	45 kg/m³	9 kg
Prevoz armature (tovornjak 28 t)	100 km	
Voda	125 l/m³	25 kg
Tovornjak 28 t (prevoz)	202 t	40 t km
Življenjski cikel - proizvodnja		
Masivna stena	1	508 kg
Življenjski cikel – prevoz na gradbišče		
Tovornjak 40 t	100 km	
Tovornjak 40 t	50,8 t km	50,8 t km
Rušenje		
Rušenje		508 kg
Upravljanje po uporabi		
Neuporaben beton	5 %	0,025 t
Uporaben beton	95 %	0,474 t
Neuporabno jeklo	5 %	0 t
Uporabno jeklo	95 %	0,009 t
Tovornjak 28 t (odvoz na deponijo)	25 km	12 t km

Za vnesene vrednosti parametrov (preglednica 5.1), dobimo naslednje vrednosti (preglednica 5.2):

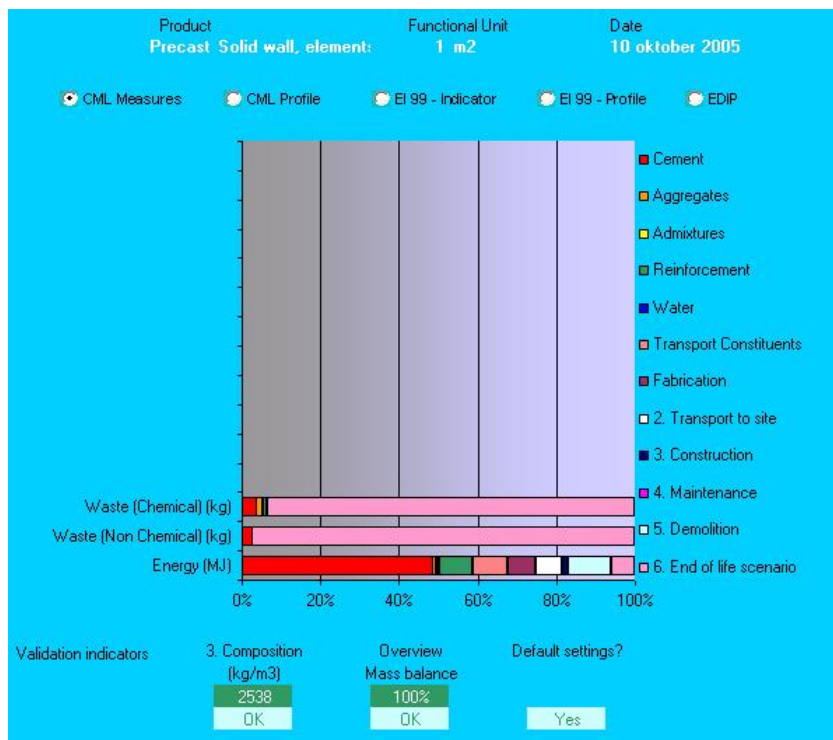
Preglednica 5.2: Rezultati (masivna stena, izhodiščni primer)

Pregled izhodnih vrednosti pri oddaljenosti gradbišča 100 km		
Slovenski izrazi	Originalni izrazi	
Energija (MJ)	<i>Energy (MJ)</i>	945,33
Nekemični odpadki (kg)	<i>Waste (non chemical) kg</i>	36,126
Kemični odpadki (kg)	<i>Waste (chemical) kg</i>	0,008
Strupenost za človeka (kg 1,4 DB)	<i>Human toxicity (kg 1,4 DB)</i>	12,321
Izraba abiotskih virov ¹ (kg Sb)	<i>Abiotic Depletion (kg Sb)</i>	4,605
Ekotoksičnost za sladko vodo (tekočo)	<i>Ecotoxicity fresh water aquatic (kg 1,4)</i>	1,422
Ekotoksičnost za sladko vodo (sediment)	<i>Ecotoxicity fresh water sediment.(kg 1,4)</i>	2,349
Ekotoksičnost zemljine (kg 1,4 DB)	<i>Ecotoxicity terrestrial (kg 1,4 DB)</i>	0,128
Zakisovanje tal ² (kg SO ₂)	<i>Acidification (kg SO₂)</i>	0,361
Evtrofikacija (kg PO ₄ ⁻)	<i>Eutrophication (kg PO₄⁻)</i>	0,074
Spreminjanje podnebja (kg CO ₂)	<i>Climate change (kg CO₂)</i>	96,822
kg C ₂ H ₄	<i>Photo-oxydant formation (kg C₂H₄)</i>	0,019
Tanjšanje stratosferske ozonske plasti	<i>Stratospheric ozone depletion (CFC₁₁)</i>	0,000

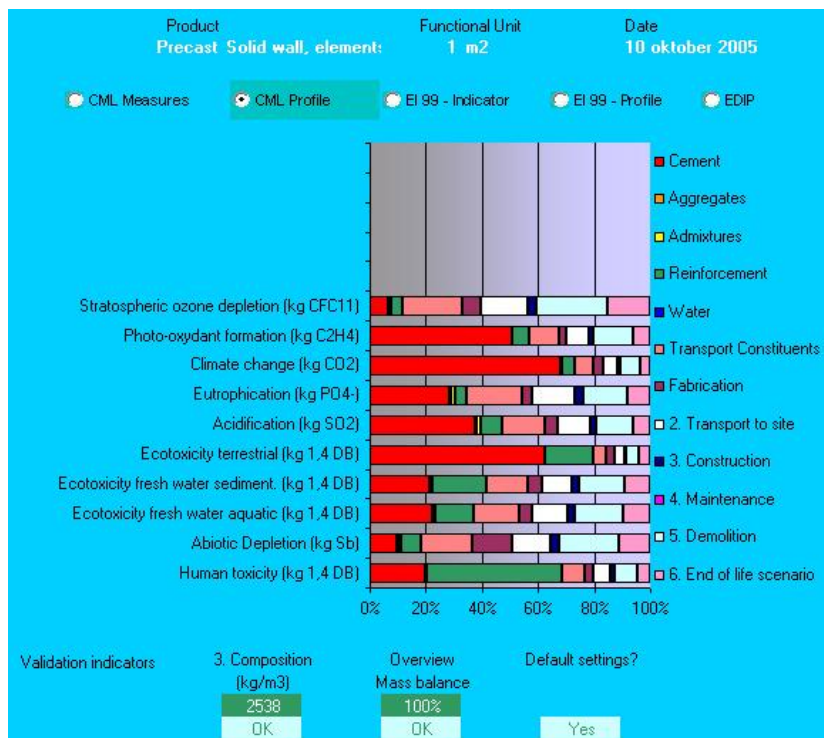
Za obravnavani primer dobimo s pomočjo programa diagrama, ki sta prikazana na slikah 5.6a, in 5.6b. V njih so podane relativne vrednosti posameznih vplivov v življenjskem ciklu proizvoda.

¹Izraba abiotskih virov: »abiotic resource depletion« je ena najbolj pogosto navajanih kategorij vplivov v LCA (izraba abiotskih virov); Abiotski viri so neobnovljivi neživi naravni viri (materialni in energetski) – npr. žel.ruda, surova nafta (Leiden University, 6.10.2005)

²Zakisovanje tal: V naravi obstoječ postopek vlažnih podnebij, ki je bil dolgo predmet raziskav, ugotovitev predoči posledice kislilnih padavin. Splošno priznan vpliv zakisovanja tal na plodnost kopenskih rastlin je sledeč: ko prst postane kislejša, se bazični kationi (Ca, Mg) izmenjajo, nadomestijo jih vodikovi ioni ali raztopljene kovine. Bazične katione v raztopini lahko voda iz prsti izpere. V nadaljevanju prst postane manj rodovitna in kislejša. Posledično se zmanjša pH prsti, mikroorganizmi v prsti so manj dejavni, kar poslabša razgradnjo ostankov rastlin in kroženja bistvenih hranil za rastline (Gemet, 6.10.2005).



Slika 5.6a: Rezultati analize masivne stene (izhodiščni primer)



Slika 5.6b: Rezultati analize masivne stene (izhodiščni primer)

Pri proizvodnji konstrukcijskih sklopov imajo pomemben vpliv na okolje predvsem izbira vrste in količine cementa, izbira armature, izbira načina transporta ter upravljanje z objektom po uporabi (slika 5.6a, slika 5.6b). Številčni rezultati so podani v preglednici 5.3.

Vidimo lahko, da program ne upošteva faze uporabe objekta, saj rezultati analize kažejo, da vzdrževanje ne prispeva k nobenemu obravnavanemu vplivu. To je razumljivo, saj analiziramo le proizvod, ki ga vgradimo v objekt, o katerem nimamo podatkov, potrebnih za oceno faze uporabe.

Preglednica 5.3: Podrobni pregled rezultatov po posameznih procesnih in materialnih elementih (masivna stena, izhodiščni primer)

	Energija (MJ)	Strupenost za človeka (kg 1,4 DB)	Izraba abiotiskih virov (kg Sb)	Zakisanje (kg SO₂)	Sprememba podnebja (kg CO₂)
Cement	456,250	2,365	0,424	0,134	65,554
Agregat	12,200	0,074	0,054	0,004	0,596
Dodatki	4,244	0,055	0,026	0,006	0,256
Armatura	83,430	5,922	0,338	0,028	4,266
Voda	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Prevoz osnovnih mat.	83,959	1,025	0,848	0,054	6,337
Proizvodnja	65,996	0,376	0,640	0,017	3,807
Prevoz na gradbišče	64,473	0,782	0,650	0,042	4,858
Gradnja	12,336	0,151	0,125	0,008	0,934
Vzdrževanje	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Rušenje	104,070	1,005	0,985	0,047	6,701
Ravnanje po uporabi	58,379	0,566	0,515	0,022	3,512
Skupaj	945,337	12,321	4,605	0,361	96,822

Cement je v obravnavanem armiranobetonskem proizvodu tisti element, v katerega je vgrajeno največ energije in v čigar proizvodnji se tvori največ emisij plinov CO₂ in SO₂

(preglednici 5.3 in 5.4). Delež energije, ki se potroši pri proizvodnji in uporabi cementa predstavlja 48% celotne količine porabljene energije tekom življenjske dobe analiziranega proizvoda. Še bolj alarmantni so podatki o emisijah škodljivih plinov. Deleža emisij SO₂ (37%) in CO₂ (68%), vezana na proizvodnjo cementa, sta daleč največja med vsemi procesi in materialnimi elementi. Vidnejši vpliv na tvorbo žveplovega dioksida imajo še proces prevoza osnovnih materialov v betonarno (15%), proces prevozov na gradbišče (12%) in proces rušenja (13%). Proces, ki zahtevajo delovanje mehanizacije na fosilna goriva (transport, proizvodnja, prevoz na gradbišče, rušenje, ravnanje po uporabi), imajo velik vpliv na izrabo abiotičnih virov.

Preglednica 5.4: Podrobni pregled prispevkov posameznih procesov in materialnih elementov (masivna stena, izhodiščni primer)

	Energija	Strupenost za človeka	Izraba abiotičnih virov	Zakisanje (SO₂)	Sprememba podnebja (CO₂)
Cement	48%	19%	9%	37%	68%
Agregat	1%	1%	1%	1%	1%
Dodatki	0%	0%	1%	2%	0%
Armatura	9%	48%	7%	8%	4%
Voda	0%	0%	0%	0%	0%
Prevoz osnovnih mat.	9%	8%	18%	15%	7%
Proizvodnja	7%	3%	14%	5%	4%
Prevoz na gradbišče	7%	6%	14%	12%	5%
Gradnja	1%	1%	3%	2%	1%
Vzdrževanje	0%	0%	0%	0%	0%
Rušenje	11%	8%	21%	13%	7%
Ravnanje po uporabi	6%	5%	11%	6%	4%
Skupaj	100%	100%	100%	100%	100%

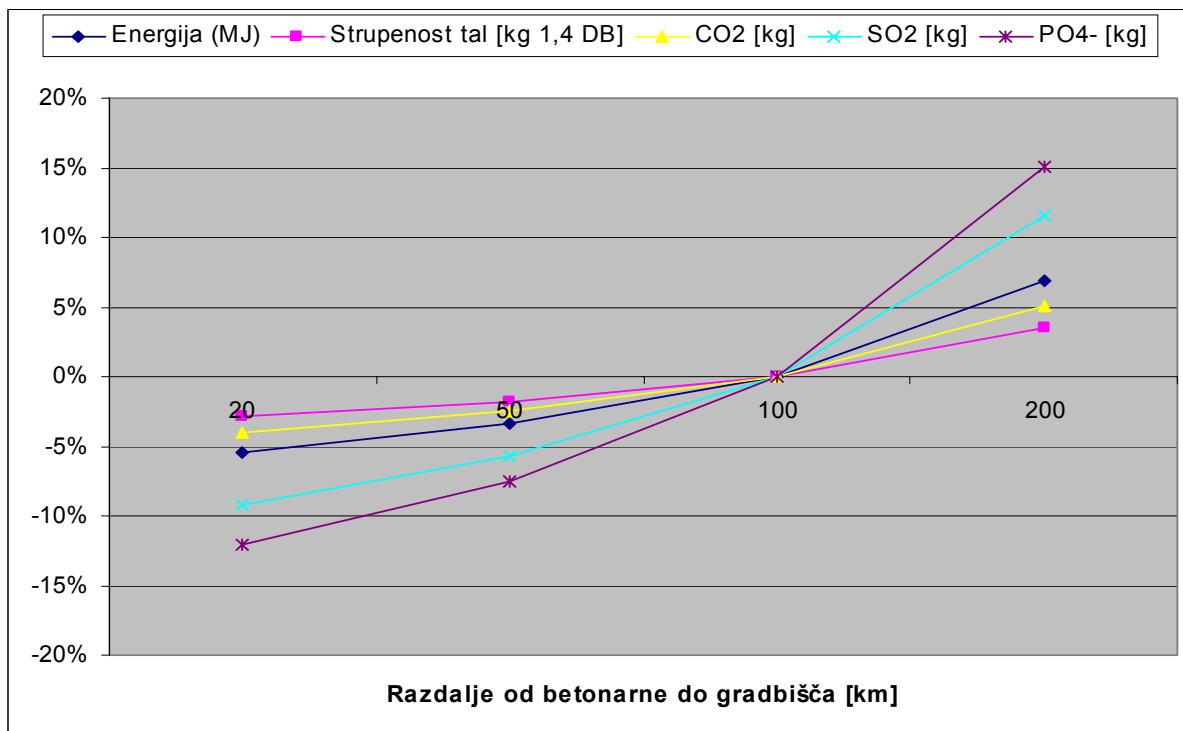
5.2.1.2 Parametrična analiza

➤ Spreminjanje oddaljenosti gradbišča

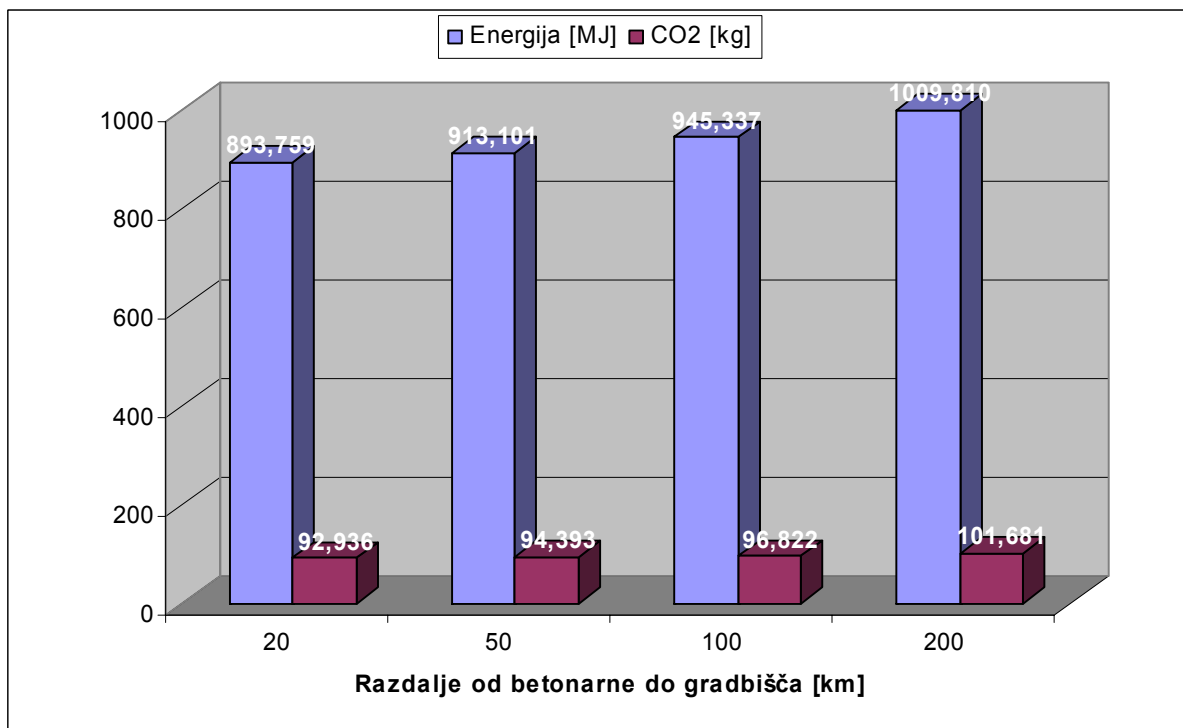
V nadaljevanju smo skušali s spreminjanjem oddaljenosti gradbišča od betonarne in s tem daljšanjem in krajšanjem dovozne poti betona, ugotoviti vpliv oddaljenosti gradbišča na potek življenjskega cikla proizvodnje konstrukcijskih sklopov. Podatkov o sestavi mešanice betona, kapaciteti tovornjakov, življenjski dobi proizvoda ter o načinu prevoza surovin nismo spreminjali. Vpliv oddaljenosti gradbišča smo preverjali pri vrednostih 20, 50, 100 in 200 km.

Ugotovili smo, da večja oddaljenost bistveno povečuje količino škodljivih emisij v zrak, vodo in tla. Če želimo v načrtovanju gradbenih del upoštevati načela trajnostnega razvoja, to je minimalizirati njihov vpliv na okolje, moramo torej težiti k čim krajšim transportnim potem. Velika transportna razdalja lahko povzroči tudi poslabšanje kakovosti betona pri vgrajevanju, saj se v sveži betonski mešanici lahko začne vezanje že med prevozom. To lahko vpliva na celostno kakovost objekta in s tem bistveno drugačno obnašanje objekta med njegovo uporabo oz. življenjsko dobo. Ugodna rešitev za zmanjševanje oddajanja škodljivih snovi bi bila tudi uporaba alternativnih prevoznih sredstev. Kjer je to mogoče, bi bilo ustrezneje uporabiti prevoz po vodi (reke, morje) ali po železnici.

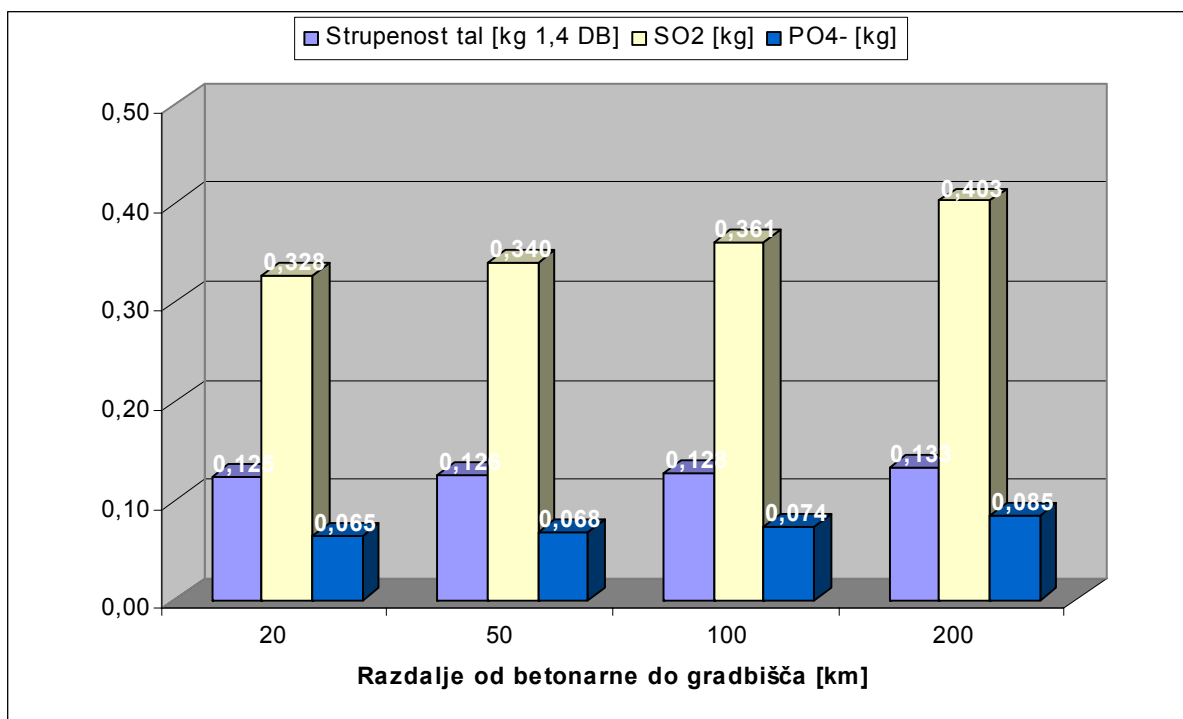
S primerjanjem pridobljenih rezultatov ugotovimo konstantno naraščanje določenih produktov procesa proizvodnje betonskih in armiranobetonskih konstrukcijskih elementov (slika 5.7, slika 5.8a, slika 5.8b). Največje spremembe, zaradi povečevanja razdalje med betonarno in gradbiščem, lahko opazimo pri oddani količini PO_4 - (eutrofikacija) in plina SO_2 , ki povzročata zakisovanje.



Slika 5.7: Vpliv spreminjanja oddaljenosti gradbišča na okoljske indikatorje (armiranobetonska stena)



Slika 5.8a: Vpliv spreminjanja oddaljenosti gradbišča na porabo energije in izhajanje CO₂ (armiranobetonska stena)

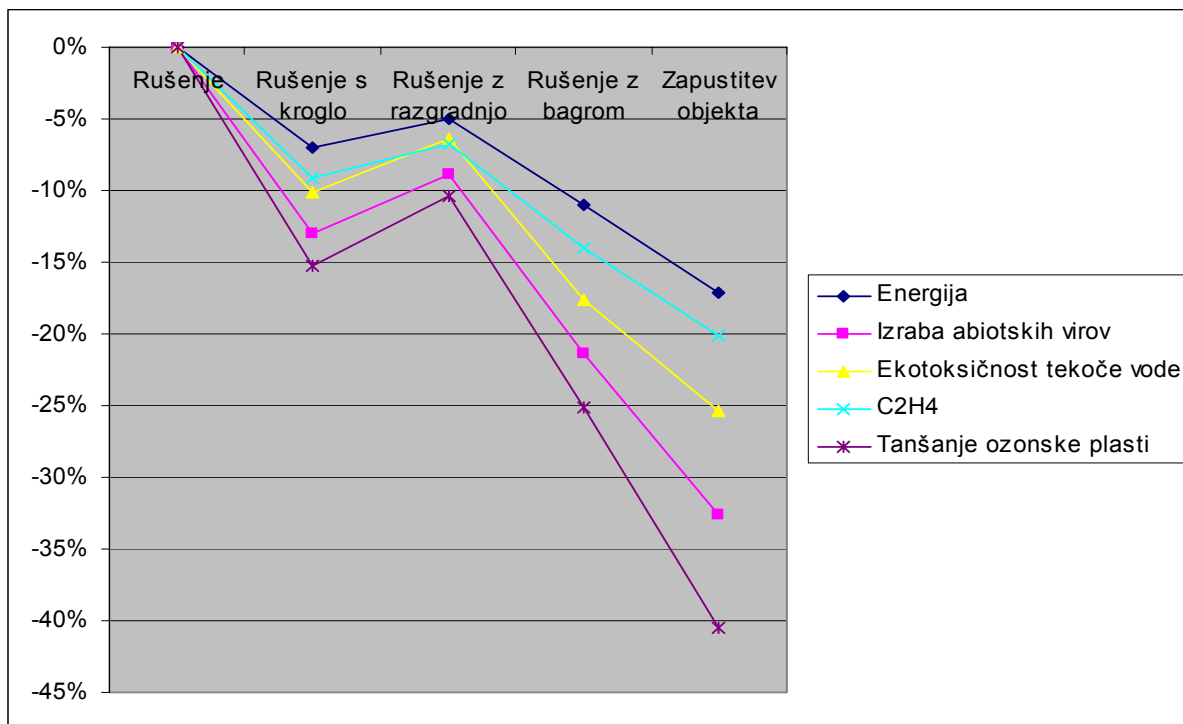


Slika 5.8b: Vpliv spreminjanja oddaljenosti gradbišča na oddajanje škodljivih snovi v tla, vodo in zrak (armiranobetonska stena)

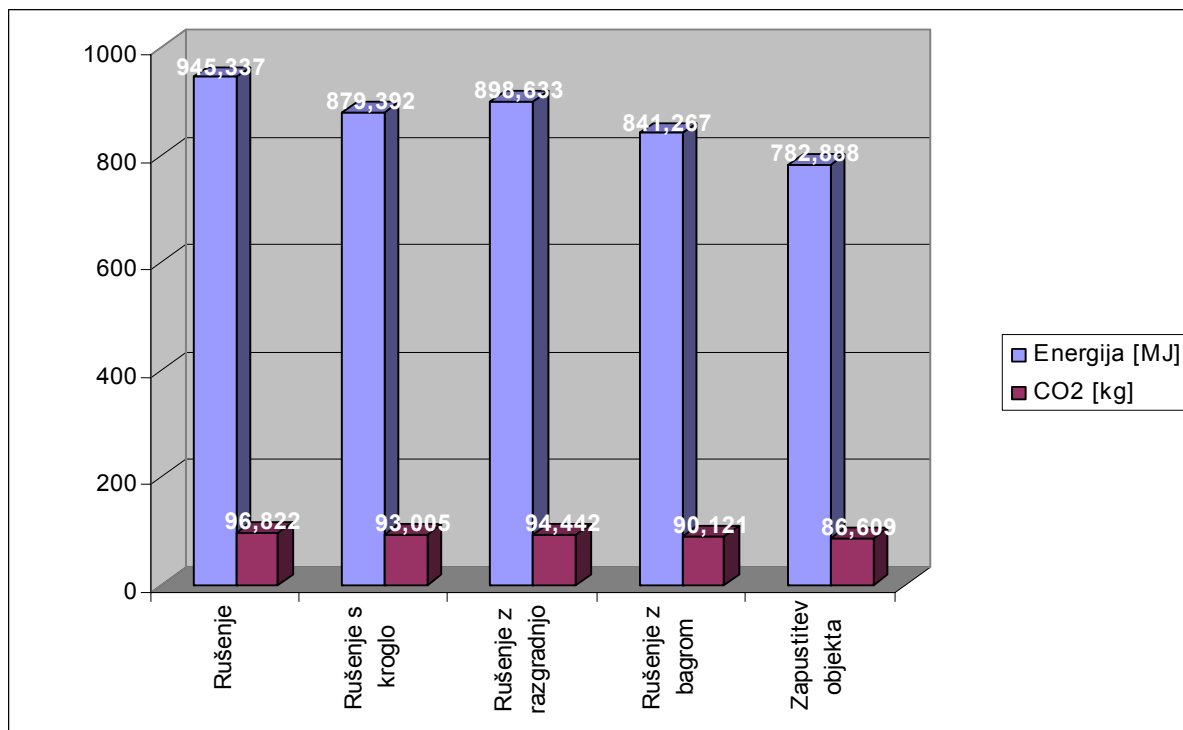
➤ Vpliv načina ravnanja z objektom po uporabi

Z analizo občutljivosti smo želeli ugotoviti, kako vplivajo spremembe scenarija na koncu življenjske dobe objekta (»end of life scenario«) na okoljske indikatorje. Pozornost smo posvetili predvsem rušenju s težnostno kroglo, rušenju z razgradnjo (določene elemente lahko ponovno uporabimo), rušenju z bagrom ter primeru zapustitve objekta (propadanje v naravi). Vse navedene alternative so na voljo v uporabljenem programu.

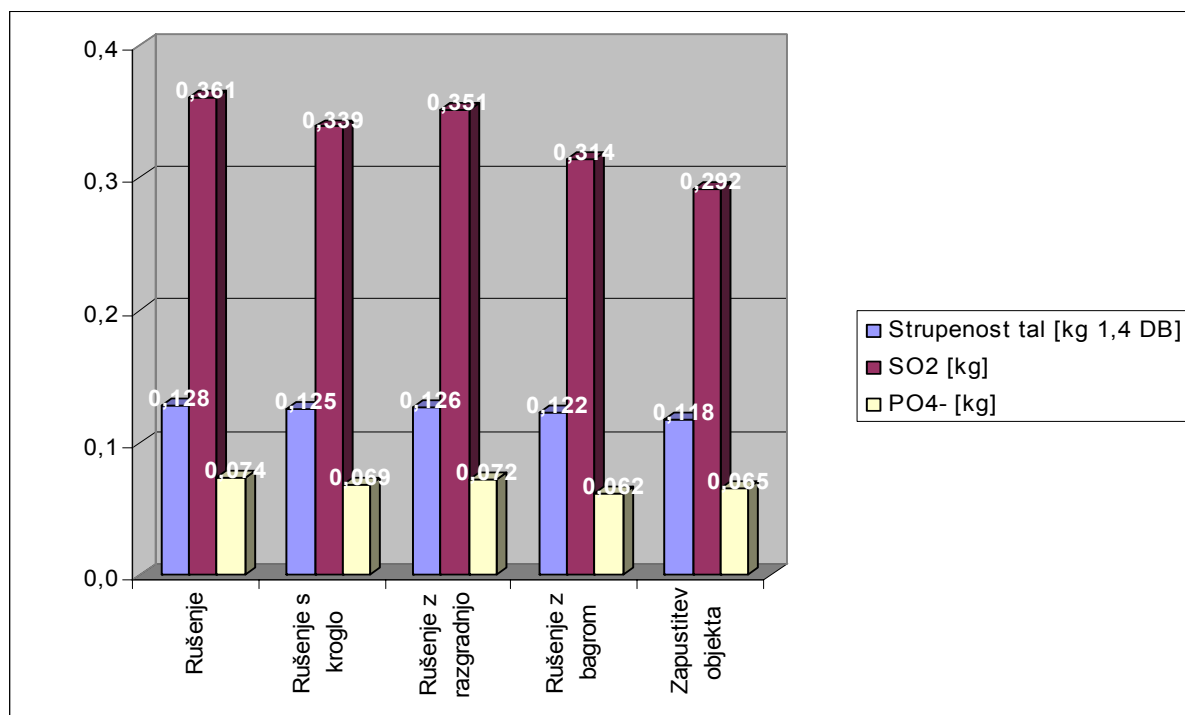
Vhodni podatki za recepturo betona, transport materialov in drugih lastnosti proizvodnje masivne stene so enaki kot v izhodiščnem primeru (preglednica 5.1). Spreminjali smo le podatek o načinu ravnanja z objektom po uporabi.



Slika 5.9: Vpliv različnih ravnanj z objektom po uporabi (armiranobetonska stena)



Slika 5.10a: Vpliv različnih načinov ravnanja z objektom po uporabi na porabo energije in izhajanje CO₂ (armiranobetonska stena)



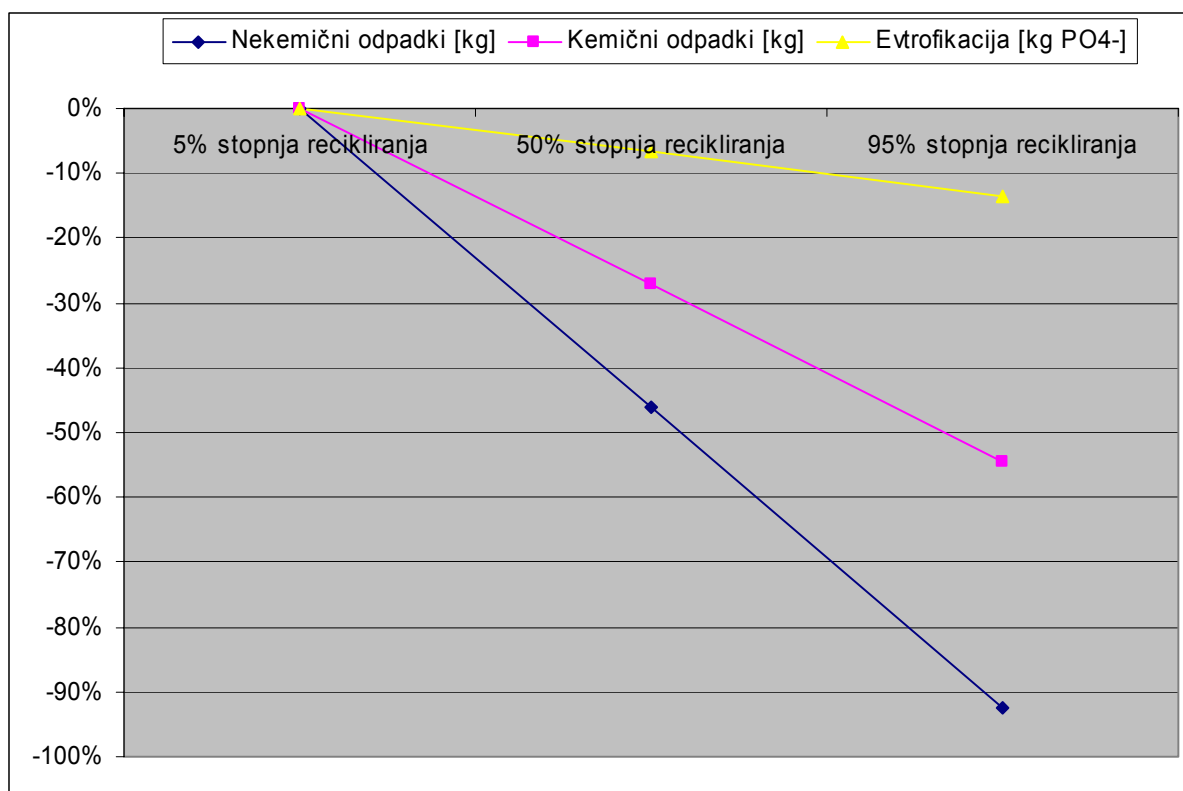
Slika 5.10b: *Vpliv različnih načinov ravnanja z objektom po uporabi na oddajanje škodljivih snovi v tla, vodo in zrak (armiranobetonska stena)*

Iz diagramov razberemo, da je odlaganje sklopov v naravo (zapustitev objekta) najugodnejše z vidika porabe energije ter oddajanjem strupenih plinov, ki so posledica predvsem delovanja transportnih vozil, drobilcev in druge mehanizacije (slika 5.10a, slika 5.10b). S takim ravnanjem pa imamo po drugi strani ogromno količino odpadkov (nekemičnih oz. inertnih), katerih odlaganje ni ustrezno (t.j. na odlagališče); takšno ravnanje pa je vprašljivo tudi z vidika same podobe narave.

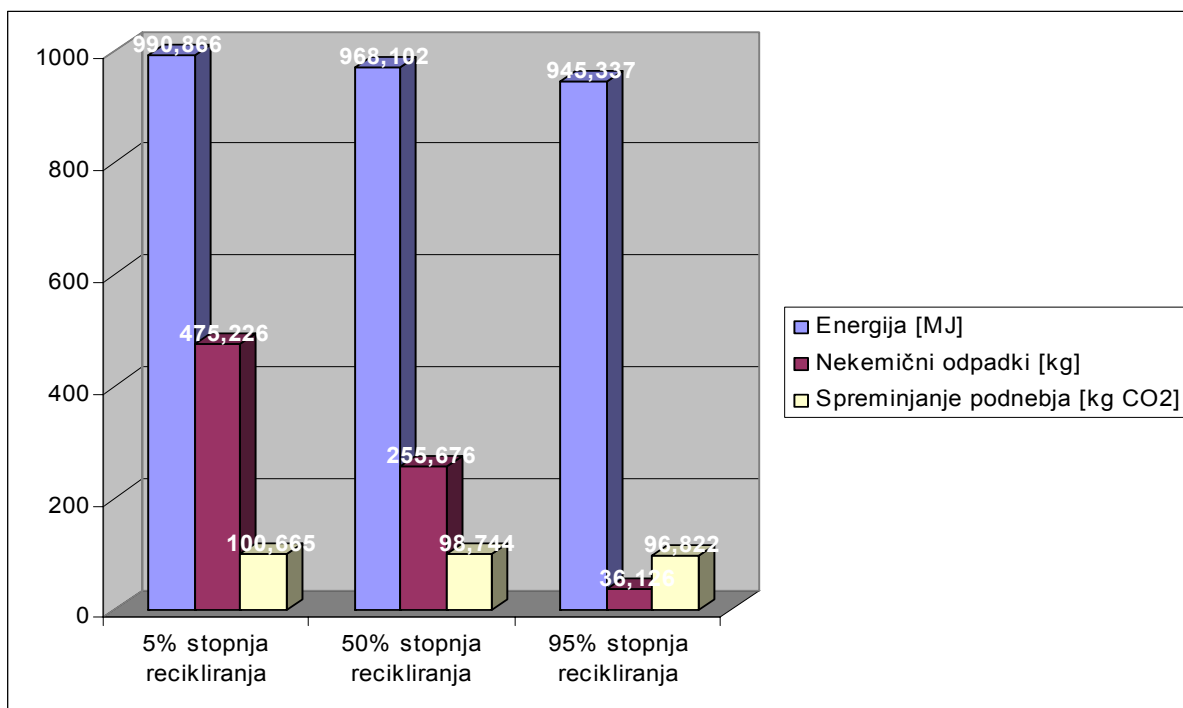
Dobljeni rezultati kažejo, da ima delovanje gradbene mehanizacije zelo velik vpliv na okolje. Z uporabo vozil na fosilna goriva se namreč v ozračje odvaja velika količina škodljivih plinov (slika 5.9). Delež plinov, kot je CFC11 (plin povzroča tanjšanje stratosferske ozonske plasti), je v primeru zapustitve objekta do 40% manjši. Negativni vplivi se kažejo tudi večji ekotoksičnosti vode ter večji izrabi abiotskih virov. Kot zelo dobri alternativni standardnemu rušenju se izkažeta tudi rušenje s kroglo in rušenje z bagrom. Prednosti se kažejo predvsem pri količinah emisije plina CFC11 (16% oz 25% manjše) in pri izrabi abiotskih virov (13% oz 22% manjše).

➤ Spreminjanje stopnje recikliranja betona in jekla pri proizvodnji masivnega zidu

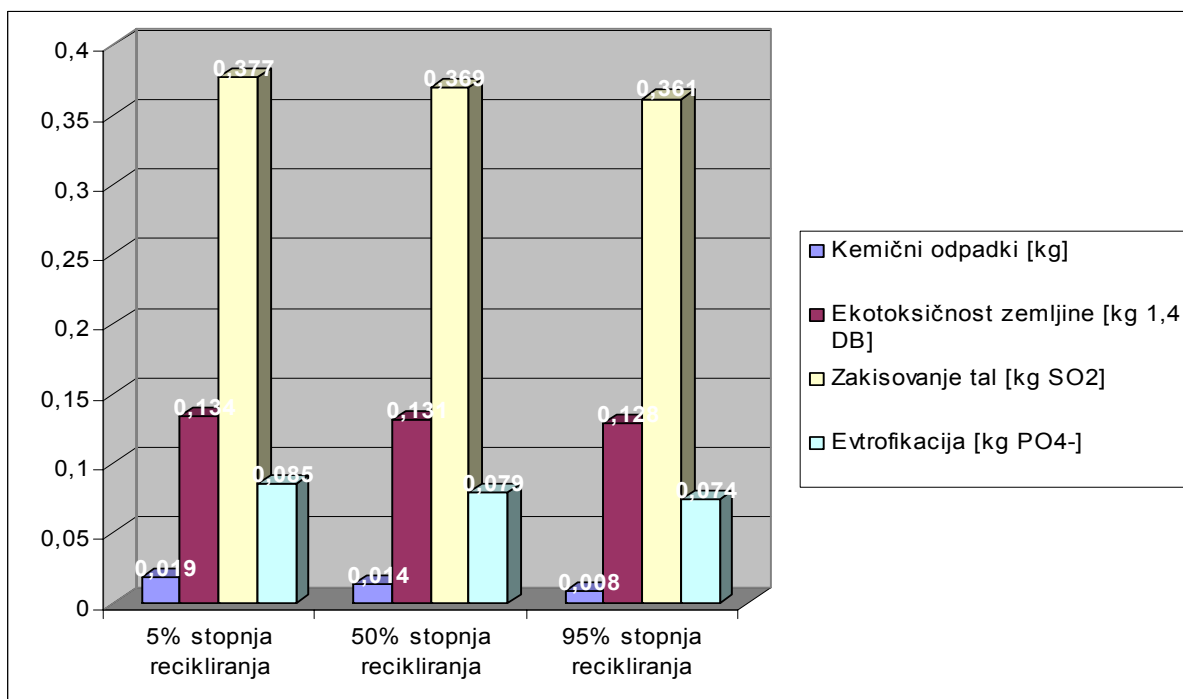
S spreminjanjem stopnje recikliranja smo ugotavljali njen vpliv na potek življenjskega cikla masivnega zidu. Podatki o sestavi mešanice betona, kapaciteti tovornjakov, življenjski dobi proizvoda ter načinu prevoza surovin smo pustili nespremenjene (preglednica 5.1). Analizirali smo primere, ko je stopnja recikliranja materialov 5%, 50% in 95%.



Slika 5.11: : Vpliv različnih stopenj recikliranja materiala na količino generiranih odpadkov in evtrofikacijo (armiranobetonska stena)



Slika 5.12a: Vpliv različnih stopenj recikliranja materiala na oddajanje škodljivih snovi v tla, vodo in zrak (armiranobetonska stena)



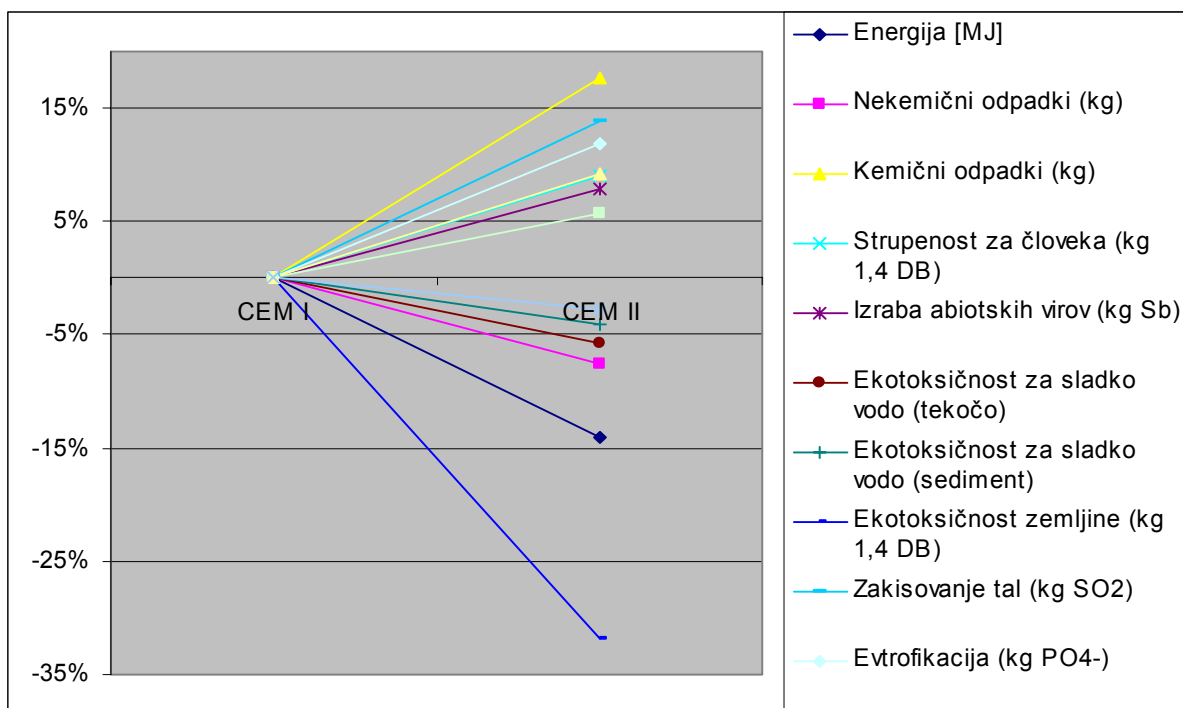
Slika 5.12b: Vpliv različnih stopenj recikliranja materiala na oddajanje škodljivih snovi v tla, vodo in zrak (armiranobetonska stena)

Večja stopnja recikliranja betona in armature ugodno vpliva na večino dejavnikov življenjskega cikla armiranobetonskega masivnega zidu (slika 5.12a, slika 5.12b). Medtem ko se količina porabljene energije, strupenost za človeka, izraba abiotskih virov, ekotoksičnost za sladko vodo, ekotoksičnost zemljine, zakisovanje tal in tanjšanje stratosferske ozonske plasti zmanjšajo le za nekaj procentov, je mnogo bolj ugoden učinek pri proizvodnji kemičnih in nekemičnih odpadkov. Teh je v primeru 95% stopnje recikliranja kar za 92% oz. 54% manj.

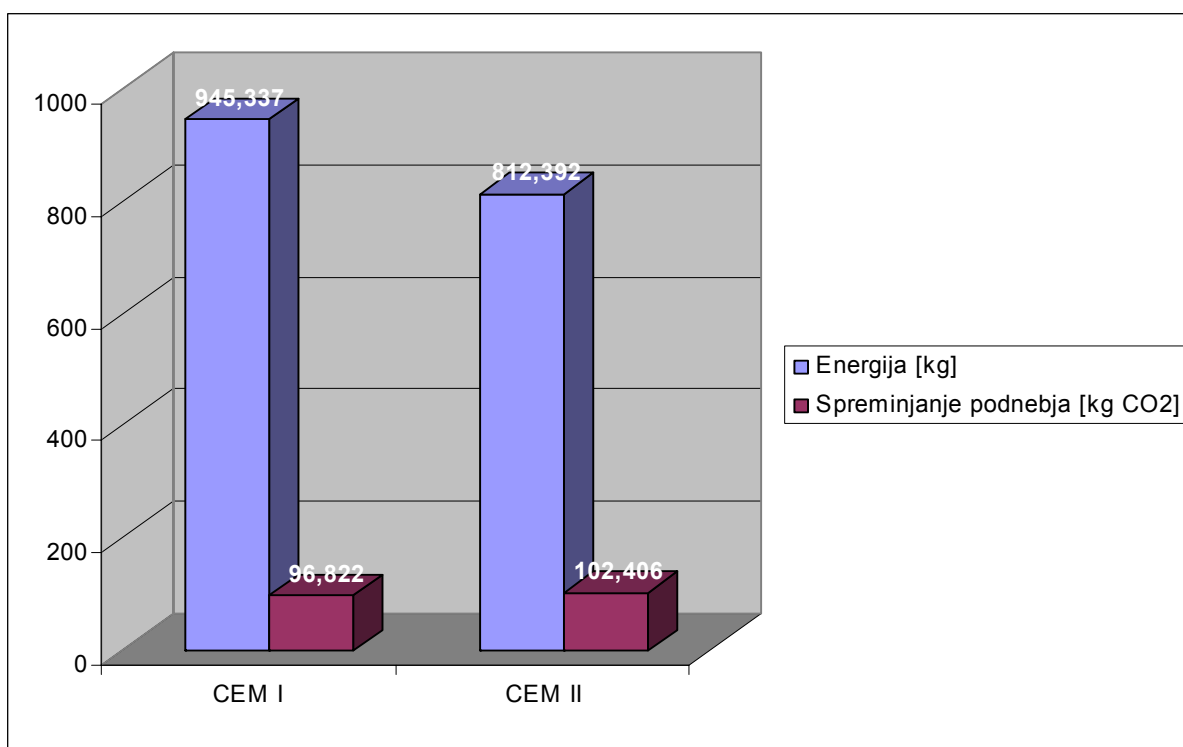
➤ **Spreminjanje sestave betonske mešanice**

Za pripravo armiranega betona potrebujemo vrsto različnih osnovnih materialov, ki določajo poleg trdnostnih lastnosti tudi ceno izdelka in njegov vpliv na okolje. Kot smo že ugotovili v razdelku 5.1 (izhodiščni primer) je vpliv uporabljenega cementa na okoljske vplive betona izjemno velik. Zato smo se odločili, da izvedemo tudi parametrično študijo vpliva uporabljene vrste cementa. V analizi smo za vrsti cementa uporabili tipa CEM I in CEM II. Ti dve vrsti cementa se razlikujeta po tem, da se v proizvodnji cementa CEM II/A uporablja najmanj 80% klinkerja in od 6 do 20% mineralnih dodatkov (granulirana žindra, elektrofilterski pepel, apnena moka, ...), v proizvodnji cementa tipa CEM I pa vsaj 95% klinkerja in do 5% polnil. Cement tipa CEM II/A-L vsebuje, kot mineralni dodatek, apneno moko (Žarnić, 2003)

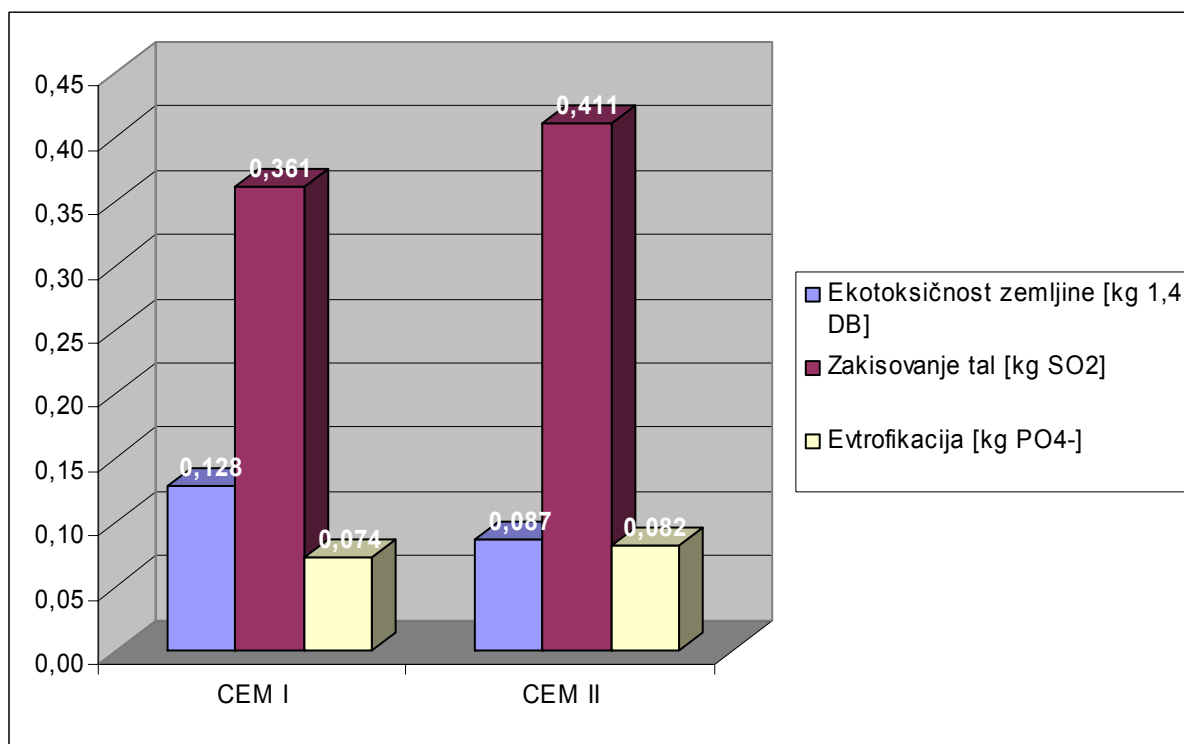
Z analizo življenjskega cikla masivnega zidu, kjer v njegovi proizvodnji uporabimo različne vrste cementa (CEM I 52,5 Europe in CEM II/A-L 32,5R Europe), smo prišli do pomembne ugotovitve. Pri elementu, kjer smo uporabili CEM II, je poraba energije precej nižja kot pri izdelku z CEM I (slika 5.13). V kombinaciji s cementom CEM II smo uporabili nekoliko spremenjeno sestavo betonske mešanice (preglednica 5.5), ki zagotavlja enak razred trdnosti betona.



Slika 5.13: Razmerje vplivov ob uporabi različnih sestav betonske mešanice



Slika 5.14a: Vpliv uporabe različnih sestav betonske mešanice na porabo energije in oddajanje CO₂



Slika 5.14b: Vpliv uporabe različnih sestav betonske mešanice na oddajanje škodljivih snovi v tla, vodo in zrak

Preglednica 5.5: Sestave betonske mešanice (armiranobetonska stena)

	Osnovna sestava (CEM I 52,5 Europe)	Spremenjena sestava (CEM II/A-L 32,5R Europe)
Cement	365 kg/m ³	410 kg/m ³
Grobi agregat	800 kg/m ³	960 kg/m ³
Fini agregat	1200 kg/m ³	790 kg/m ³
Dodatki	3,3 kg/m ³ (plastifikator)	6,1 kg/m ³ (superplastifikator)
Voda	125 l	175 l

Manjša poraba energije za proizvodnjo betona, ki vsebuje cement CEM II, izvira iz dejstva, da mineralnih dodatkov ni potrebno žgati na visoki temperaturi (nad 1400°C), tako kot je potrebno pri klinkerju. Uporaba cementa CEM I ima poleg omenjene tudi druge slabe lastnosti. Vpliva na ekotoksičnost zemljine in sladke vode, tanjšanje stratosferske ozonske

plasti ter večjo proizvodnjo nekemičnih odpadkov, kot v primeru uporabe CEM II. Na drugi strani pa ima uporaba cementa vrste CEM I (glede na CEM II) tudi ugodne vplive. Armirani beton, izdelan po osnovni recepturi, ima ekološko sprejemljivejši vpliv na okolje glede proizvodnje kemičnih odpadkov, strupenosti za človeka, izrabe abiotičnih virov ter emisij plinov SO_2 , PO_4^- , CO_2 in C_2H_4 (slika 5.13, slika 5.14a, slika 5.14b).

5.2.2 Medetažna armiranobetonska plošča

5.2.2.1 Izhodiščni primer

Tudi za analizo medetažne plošče smo uporabili primer, ki ga ponuja program. Ploščo proizvedejo v tovarniških pogojih, nato jo transportirajo na gradbišče, kjer jo vgradijo v objekt. Izbrana sestava armiranega betona je iz cementa CEM I, različnih frakcij agregata, vode ter plastifikatorjev. Za prevoz surovin v betonarno se poslužujemo tovornjakov kapacitete 28 ton. Prefabricirane elemente medetažnih plošč nato dostavljamo s tovornjaki kapacitete 40 t. Sama montaža sklopov se izvaja s pomočjo žerjavov nosilnosti 10 t.

Za obravnavani primer izberemo stopnjo recikliranja betona 99%, kar pomeni, da bi le 1% izdelanega sklopa odložili na deponijo. Podobne vrednosti so podane tudi za armaturno jeklo.

Vrednosti, napisane s krepkimi številkami, vstavi uporabnik in jih je moč spreminjati med analizo konstrukcijskih sklopov (preglednica 5.6), ostale vrednosti pa so stalnica programa. Na osnovi izbrane metode izračuna program poda grafične in numerične rezultate (preglednica 5.7).

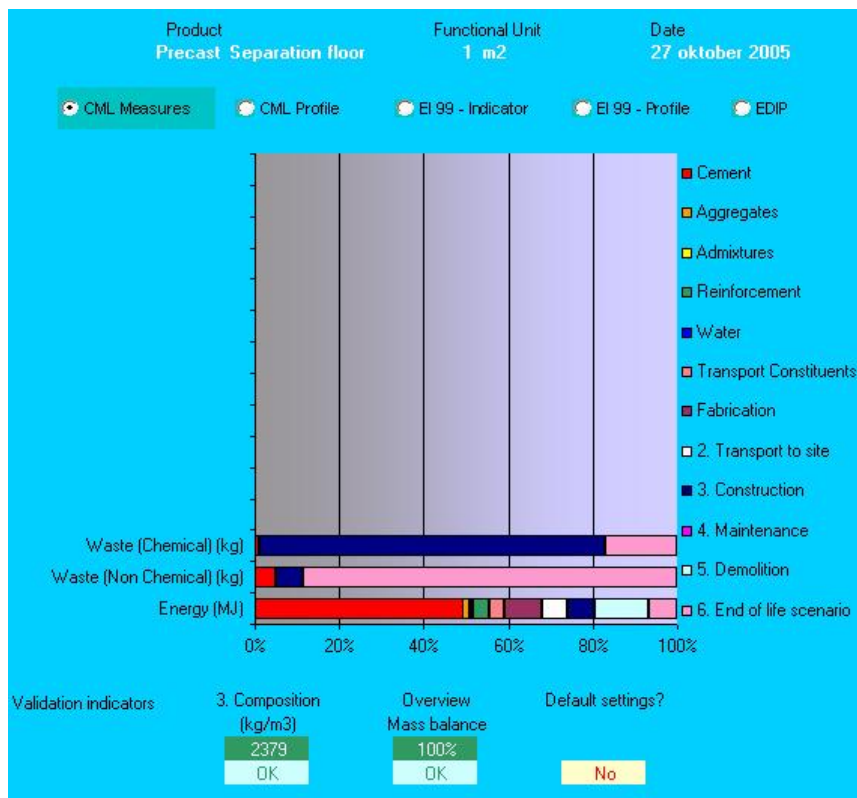
Preglednica 5.6: Vhodni podatki (AB medetažna plošča, izhodiščni primer)

Funkcionalna enota	Vrednost	Vred. / m²
Obravnavana površina	1 m ²	
Pripadajoča masa bet.mešanice	0,227 t	
Sestava bet. mešanice		
CEM I 52,5	305 kg/m ³	29 kg
Prevoz cementa (tovornjak 28 t)	58 km	
Grobi agregat	1000 kg/m ³	96 kg
Fini agregat	950 kg/m ³	91 kg
Prevoz agregata (tovornjak 28 t)	25 km	
Plastifikatorji	3,3 kg/m ³	1 kg
Prevoz plastifikatorja (tovornjak 28 t)	250 km	
Rebrasta armatura	16 kg/m ³	2 kg
Prevoz armature (tovornjak 28 t)	100 km	
Voda	105 l/m ³	10 kg
Tovornjak 28 t (prevoz)	68 t km/m ³	6 t km
Življenjski cikel - proizvodnja		
Medetažna plošča	1	227 kg
Življenjski cikel – prevoz na grad.		
Prevoz na gradbišče (tovornjak 40 t)	80 km	
Tovornjak 40 t	18,2 t km	18,2 t km
Življenjski cikel – gradnja		
Obdelava stikov (Trimming joint)	1,33 kg	1,3 kg
Žerjav	1	0,20 m ³
Rušenje		
Rušenje		228 kg
Upravljanje po uporabi		
Neuporaben beton	1 %	0,002 t
Uporaben beton	99 %	0,223 t
Neuporabno jeklo	1 %	0 t
Uporabno jeklo	99 %	0,003 t
Tovornjak 28 t (prevoz)	25 km	6 t km

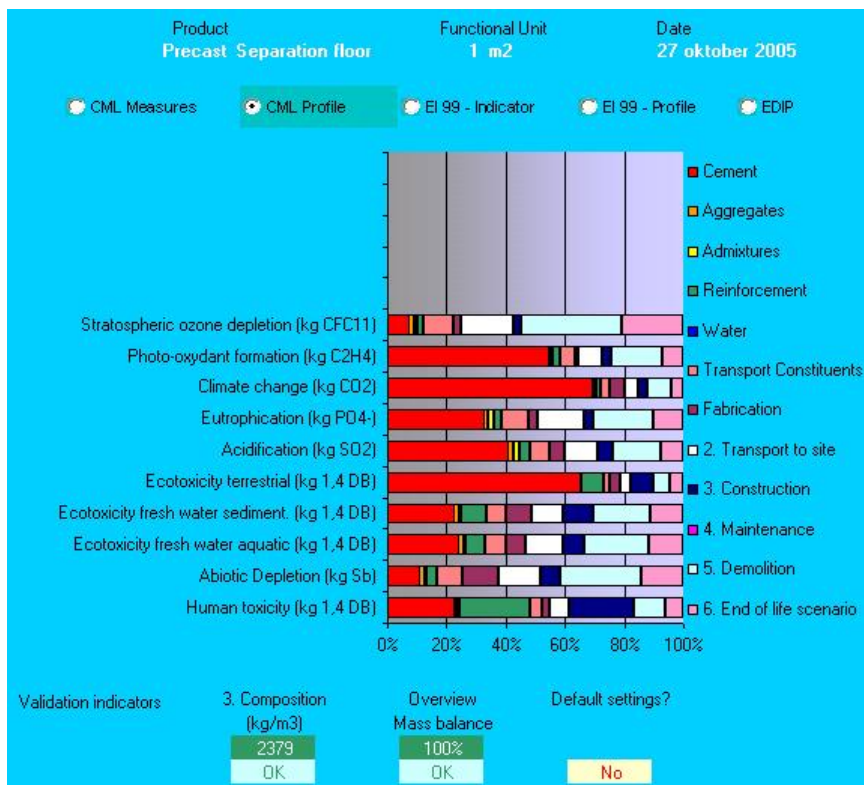
Preglednica 5.7: Rezultati (medetažna AB plošča, izhodiščni primer)

Pregled izhodnih vrednosti pri 99% stopnji recikliranja betona in jekla		
Slovenski izrazi	Originalni izrazi	
Energija (MJ)	<i>Energy (MJ)</i>	369,674
Nekemični odpadki (kg)	<i>Waste (non chemical) kg</i>	7,978
Kemični odpadki (kg)	<i>Waste (chemical) kg</i>	0,020
Strupenost za človeka (kg 1,4 DB)	<i>Human toxicity (kg 1,4 DB)</i>	4,176
Izraba abiotskih virov ³ (kg Sb)	<i>Abiotic Depletion (kg Sb)</i>	1,606
Ekotoksičnost za sladko vodo (tekočo)	<i>Ecotoxicity fresh water aquatic (kg 1,4 DB)</i>	0,513
Ekotoksičnost za sladko vodo (sediment)	<i>Ecotoxicity fresh water sediment (kg 1,4 DB)</i>	0,869
Ekotoksičnost zemljine (kg 1,4 DB)	<i>Ecotoxicity terrestrial (kg 1,4 DB)</i>	0,049
Zakisovanje tal ¹ (kg SO ₂)	<i>Acidification (kg SO₂)</i>	0,131
Evtrofikacija ² (kg PO ₄ ⁻)	<i>Eutrophication (kg PO₄⁻)</i>	0,025
Spreminjanje podnebja (kg CO ₂)	<i>Climate change (kg CO₂)</i>	37,779
kg C ₂ H ₄	<i>Photo-oxydant formation (kg C₂H₄)</i>	0,007
Tanjšanje stratosferske ozonske plasti	<i>Stratospheric ozone depletion (CFC11)</i>	0,000

Za obravnavani primer dobimo s pomočjo programa spodnja diagrama (slika 5.15a, slika 5.15b). V njih so podane relativne vrednosti posameznih vplivov v življenjskem ciklu proizvoda.



Slika 5.15a: Rezultati analize medetažne plošče (izhodiščni primer)



Slika 5.15b: Rezultati analize medetažne plošče (izhodiščni primer)

Podrobnejši pregled rezultatov (preglednica 5.8) nam pokaže lastnosti življenjskega cikla armiranobetonskih medetažnih plošč. Največji del potrošene energije odpade na proizvodnjo in uporabo cementa. Ta ima pomembno vlogo tudi pri dejavniku strupenosti za človeka in pri spreminjanju podnebja, saj se za njegovo predelavo sprostijo v ozračje velike količine plina CO₂. Po pričakovanju ima glavni vpliv na emisije plina SO₂ in s tem povezano zakisovanje tal, uporaba gradbene mehanizacije ter oskrba surovin in transport elementov na gradbišče.

Preglednica 5.8: Podrobni pregled rezultatov po posameznih procesnih in materialnih elementih (medetažna AB plošča, izhodiščni primer)

	Energija (MJ)	Strupenost za človeka (kg 1,4 DB)	Izraba abiotskih virov (kg Sb)	Zakisovanje tal (kg SO₂)	Sprememba podnebja (kg CO₂)
Cement	181,740	0,942	0,169	0,053	26,112
Agregat	6,671	0,042	0,031	0,002	0,327
Dodatki	2,023	0,026	0,012	0,003	0,122
Armatura	14,141	1,004	0,057	0,005	0,723
Voda	0	0	0	0	0
Transport	13,656	0,167	0,138	0,009	1,031
Izdelovanje	32,438	0,111	0,193	0,006	2,008
Prevoz na gradbišče	23,182	0,281	0,234	0,015	1,747
Gradnja	23,586	0,901	0,101	0,007	1,188
Vzdrževanje	0	0	0	0	0
Rušenje	46,775	0,452	0,443	0,021	3,012
Ravnanje po uporabi	25,461	0,250	0,228	0,010	1,510
Skupaj	369,674	4,176	1,606	0,131	37,779

Zgornje vrednosti se skladajo z vrednostmi na sliki 5.15a in sliki 5.15b.

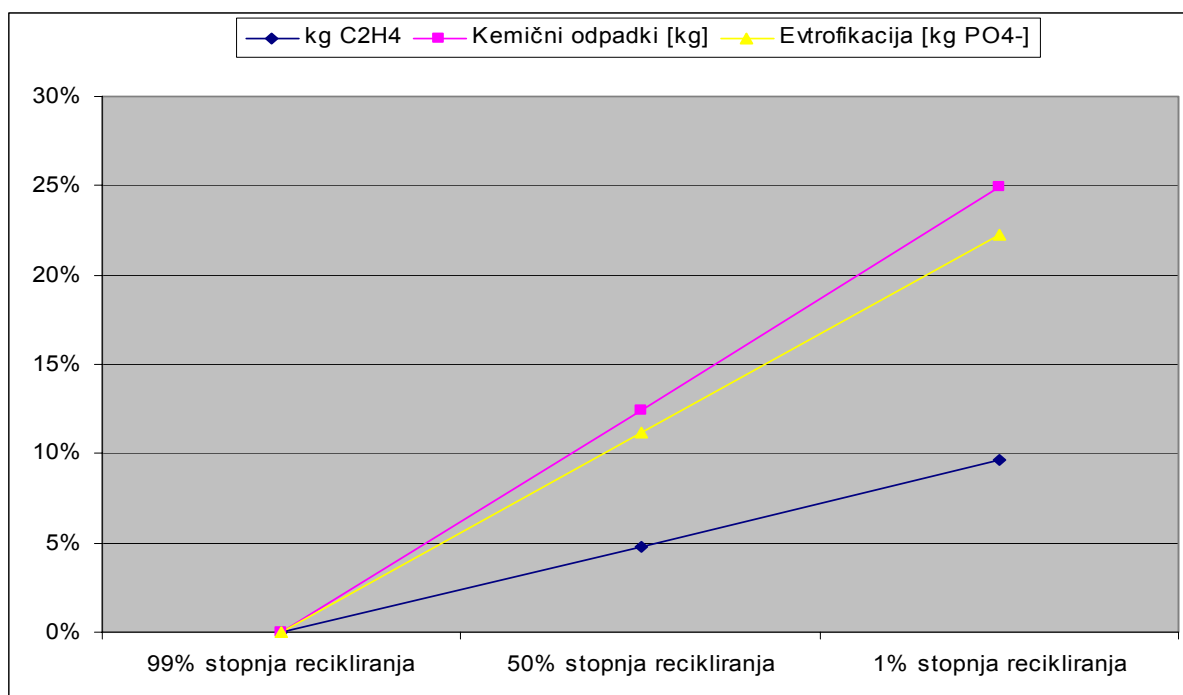
5.2.2.2 Parametrična analiza

Podobno kot v primeru betonske stene poskušamo tudi v primeru medetažne AB plošče oceniti vpliv posameznih dejavnikov na okoljske indikatorje s pomočjo analize občutljivosti.

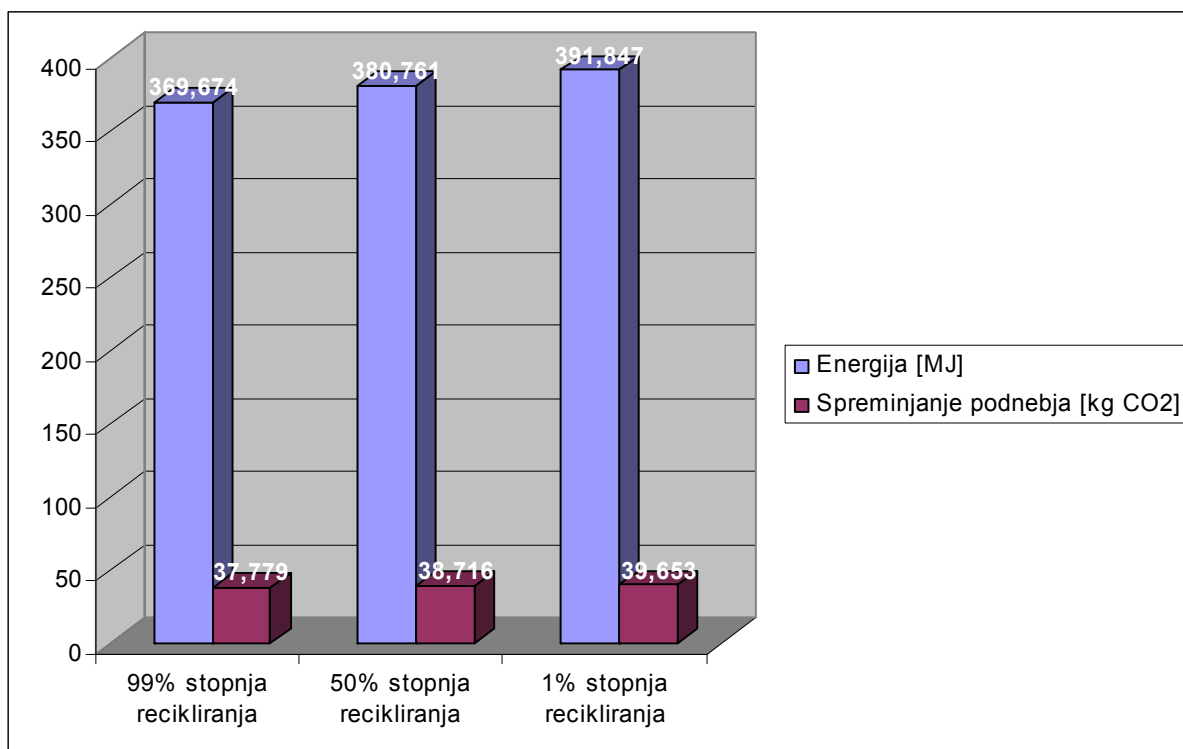
➤ Vpliv stopnje recikliranja betona in jekla

V nadaljevanju smo skušali s spreminjanjem stopnje recikliranja ugotoviti njen vpliv na potek življenjskega cikla proizvodnje in uporabe AB medetažne plošče. Podatke o sestavi mešanice betona, kapaciteti tovornjakov, življenjski dobi proizvoda ter o načinu prevoza surovin smo pustili nespremenjene. Analizirali smo primere, ko je stopnja recikliranja 99%, 50% in 1%.

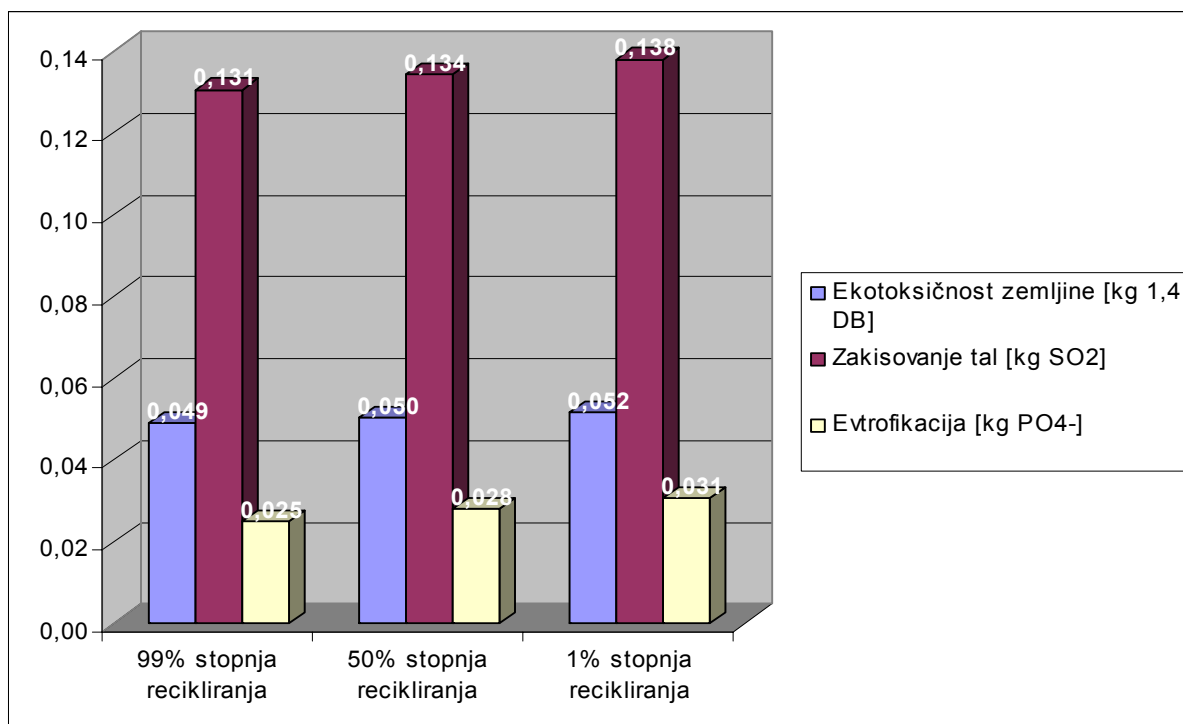
Rezultati kažejo, da ima višja stopnja recikliranja tako pozitiven kot negativen učinek na okolje. Po eni strani z recikliranjem betona zmanjšamo odlaganje odpadnega betona in potrebo po novih surovinah, po drugi strani pa zahteva reciklaža uporabo predelovalnih strojev (drobilnikov, sejalnikov) in tovornjakov na fosilna goriva.



Slika 5.16: Vpliv spreminjanja stopnje recikliranja na okoljske indikatorje (medetažna AB plošča)



Slika 5.17a: Vpliv spreminjanja stopnje recikliranja na oddajanje škodljivih snovi v tla, vodo in zrak (medetažna AB plošča)

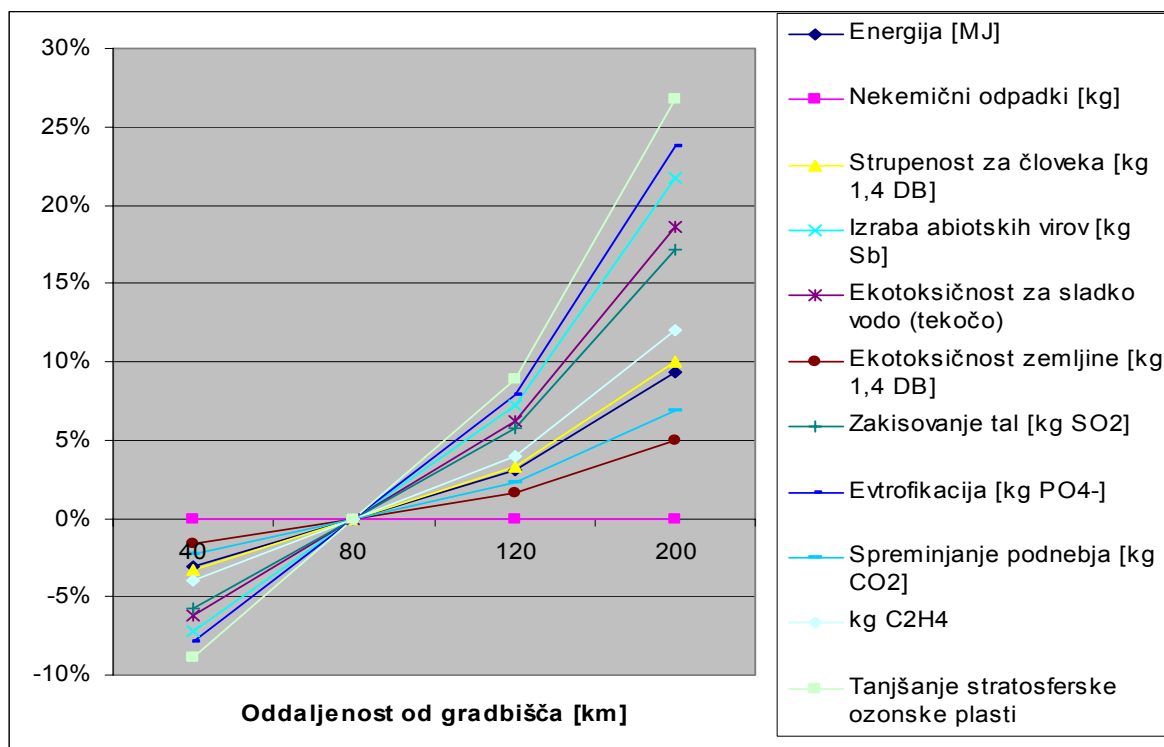


Slika 5.17b: Vpliv spreminjanja stopnje recikliranja na oddajanje škodljivih snovi v tla, vodo in zrak (medetažna AB plošča)

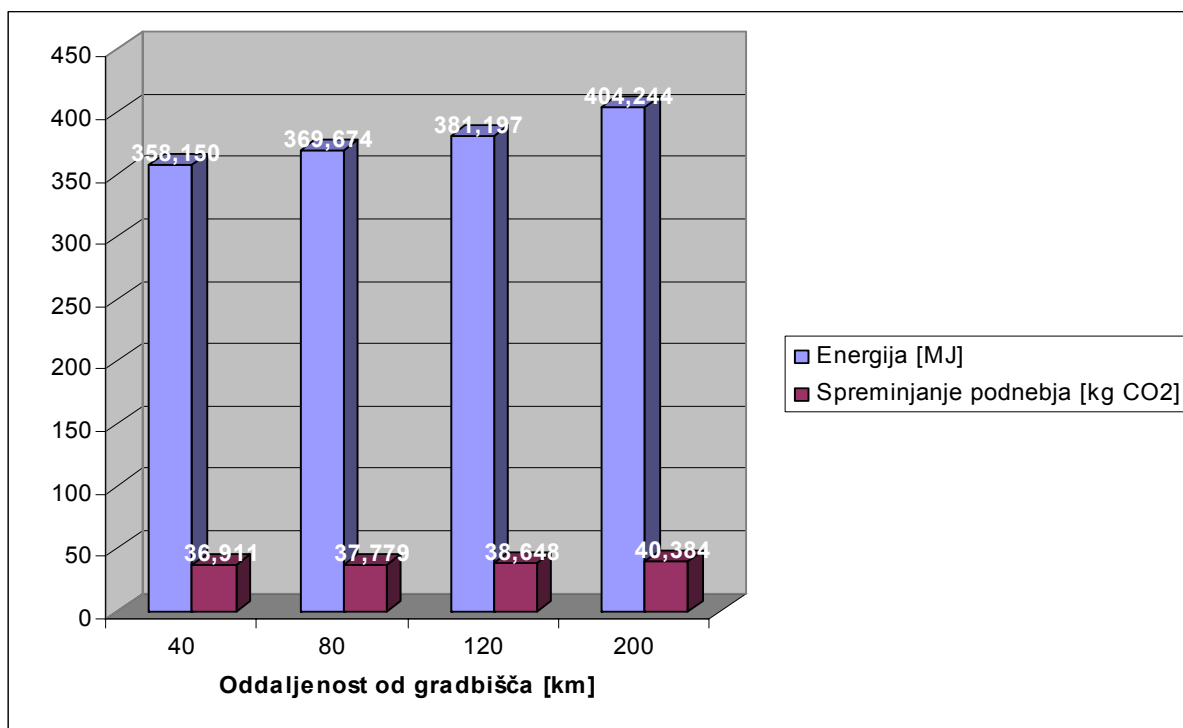
Dobljeni rezultati kažejo, da se z zmanjšanjem stopnje recikliranja elementov znatno poveča količina nekemičnih odpadkov, saj pri 1% stopnji recikliranja odpeljemo na deponijo skoraj celoten element. Veliko večja je tudi količina kemičnih odpadkov in emisij plina PO_4^- (slika 5.16), ki se povečajo tudi do 25%. Čeprav v manjši meri, nižja stopnja recikliranja negativno vpliva tudi na izrabo abiotskih virov, ekotoksičnost sladke vode, ekotoksičnost zemljine, zakisovanje tal, spreminjanje podnebja, tanjšanje stratosferske ozonske plasti in na strupenost (slika 5.17a, slika 5.17b). Negativen vpliv ima tudi na porabo energije, ker se poraba poveča.

➤ Spreminjanje oddaljenosti gradbišča od proizvodnega obrata

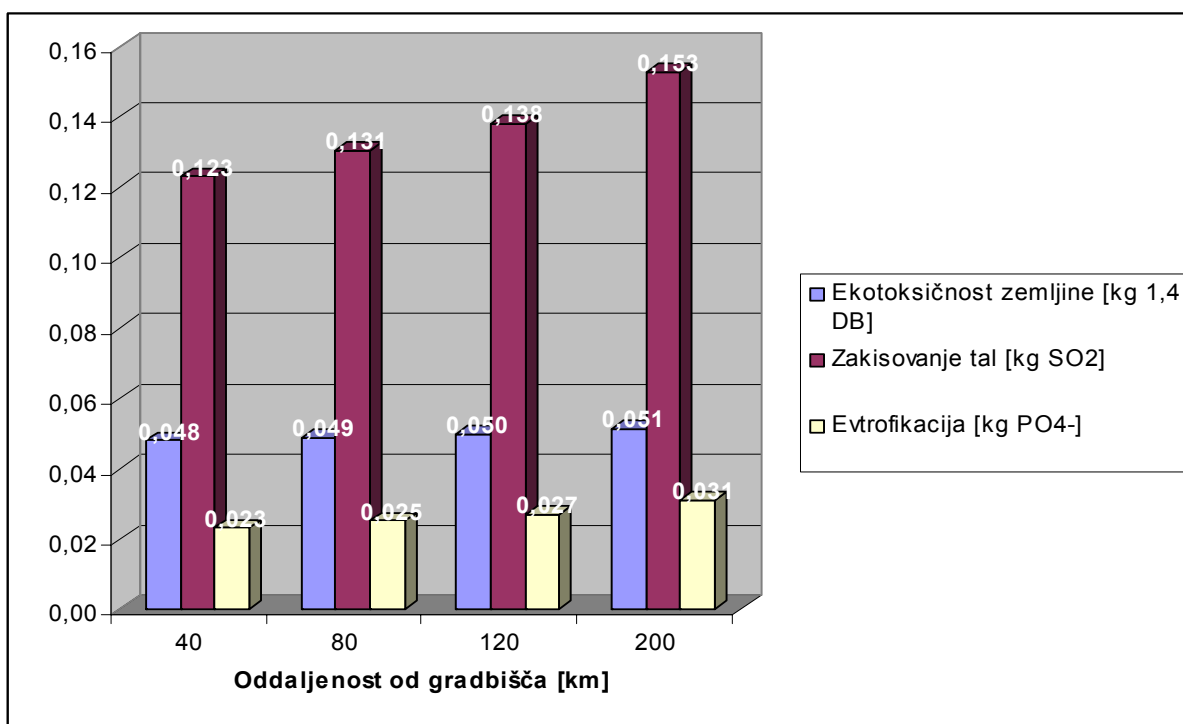
S spreminjanjem razdalje med gradbiščem in tovarno prefabriciranih AB plošč smo ugotavljali vpliv transporta na življenjski cikel obravnavanih elementov. Podatke o sestavi mešanice betona, kapaciteti tovornjakov, življenjski dobi proizvoda ter o načinu prevoza surovin smo pustili nespremenjene (preglednica 5.5). Vpliv oddaljenosti gradbišča od proizvodnega obrata smo preverjali pri vrednostih 40 km, 80 km, 120 km in 200 km.



Slika 5.18: Vpliv spreminjanja oddaljenosti gradbišča na okoljske indikatorje (medetažna AB plošča)



Slika 5.19a: Vpliv spreminjanja oddaljenosti gradbišča na porabo energije in izhajanje CO₂ (medetažna AB plošča)



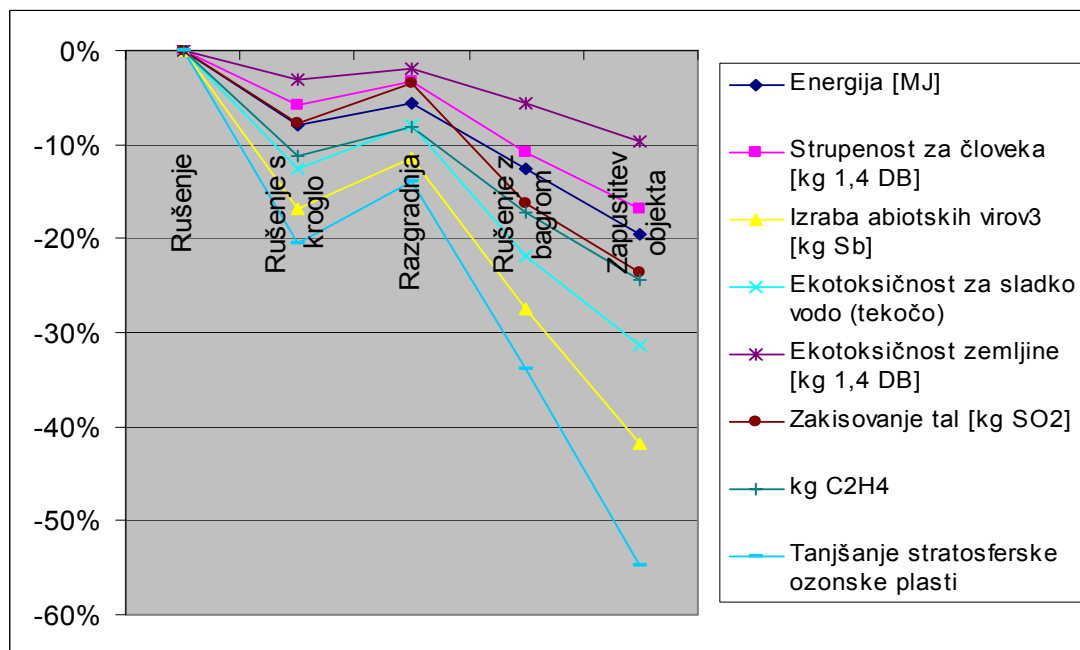
Slika 5.19b: Vpliv spreminjanja oddaljenosti gradbišča na oddajanje škodljivih snovi v tla, vodo in zrak (medetažna AB plošča)

Ugotovili smo, da ima spreminjanje razdalje pri analizi življenjskega cikla medetažnih plošč podoben vpliv kot na masivni zid (glej razdelek 5.2.1.2). Tudi tu se poveča količina porabljene energije ter škodljivih emisij v zrak, vodo in tla (slika 5.19a, slika 5.19b). Transport ne more negativno vplivati na lastnosti betona, ker so elementi vnaprej izdelani v tovarni. Zavedati pa se moramo, da je največji delež v skupni porabi energije, potrebne za proizvodnjo in vgradnjo AB plošče, vezan na proizvodnjo betona oz., natančneje, cementa.

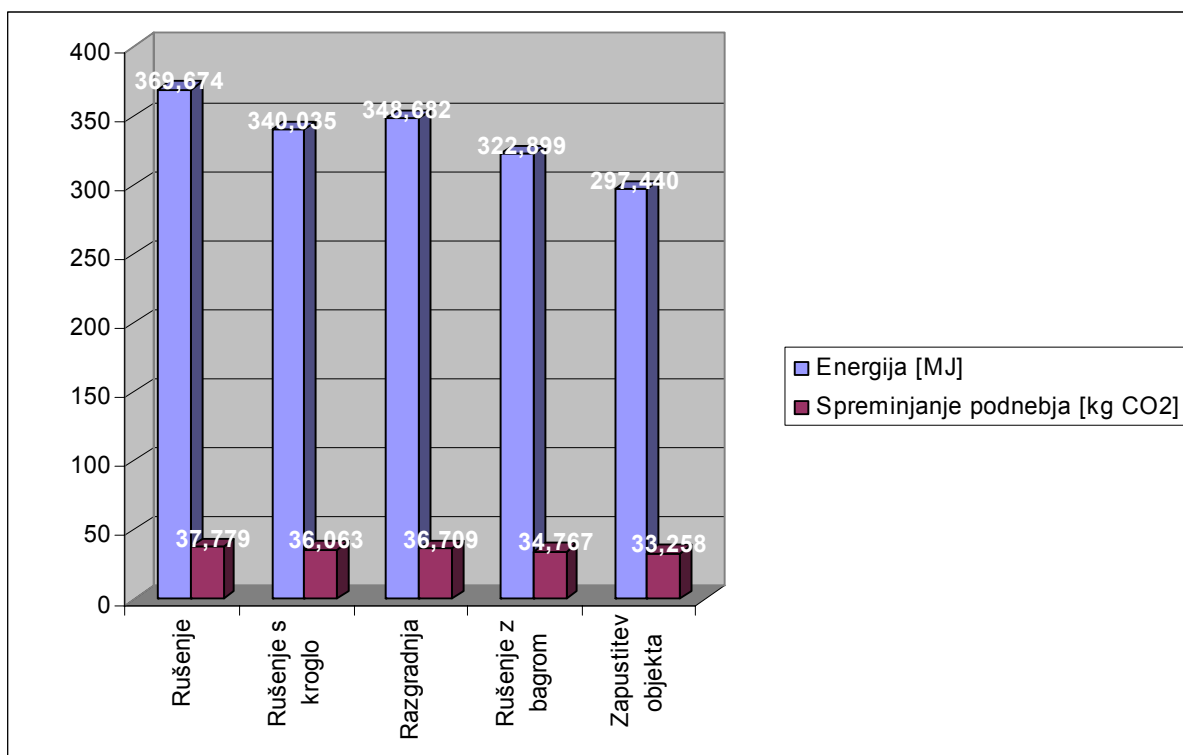
Medtem, ko so količine kemičnih in nekemičnih odpadkov praktično neodvisne od razdalje transportnih poti, se z oddaljenostjo močno poveča količina emisij plinov CFC11 (tanjšanje stratosferske ozonske plasti), PO₄⁻ (eutrofikacija), SO₂ (zakisovanje tal) ter izraba abiotskih virov in ekotoksičnost sladke vode (slika 5.18).

➤ Vpliv načina ravnanja z objektom po uporabi

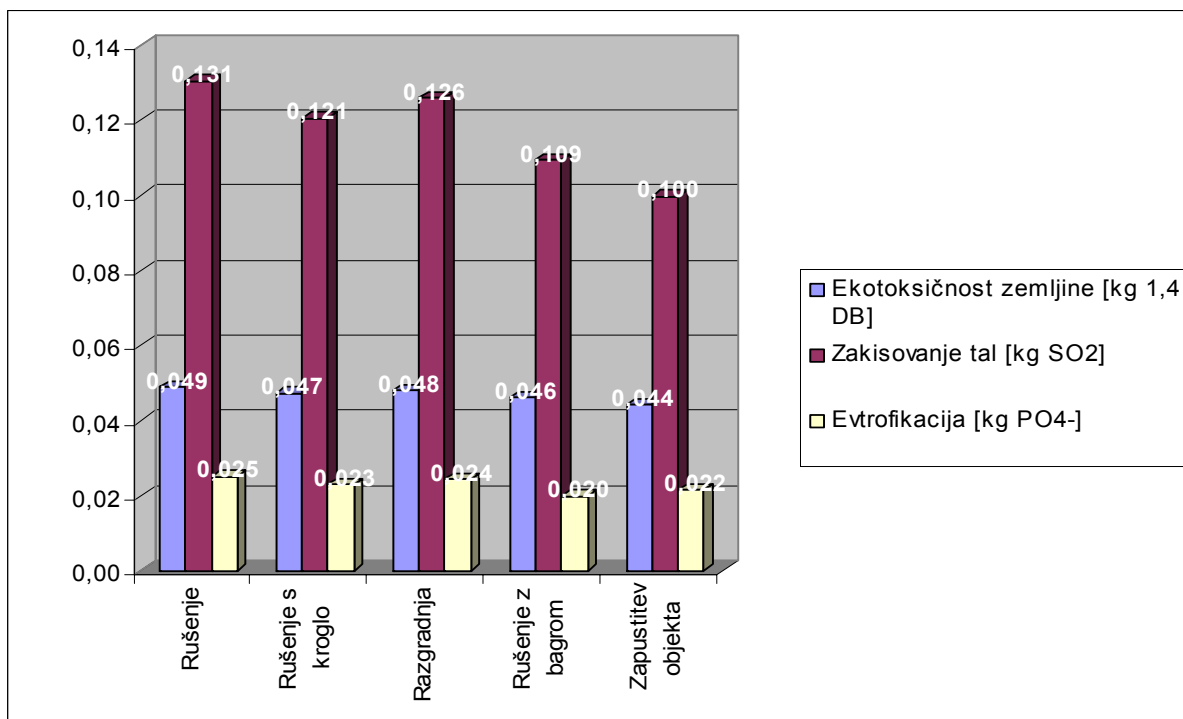
V obravnavanem primeru smo spreminjali podatek o načinu ravnanja z objektom po uporabi. Podrobno smo analizirali probleme, kjer objekt po uporabi rušimo s težnostno kroglo, z razgradnjo (določene elemente lahko ponovno uporabimo), z bagrom ter primer zapustitve objekta (slika 5.21a, slika 5.21b).



Slika 5.20: Vpliv spreminjanja različnega ravnanja z objektom po uporabi na okoljske indikatorje



Slika 5.21a: Vpliv spreminjanja različnega ravnanja z objektom po uporabi na porabo energije in izhajanje CO₂



Slika 5.21b: Vpliv spreminjanja različnega ravnanja z objektom po uporabi na oddajanje škodljivih emisij v vodo, zrak in tla

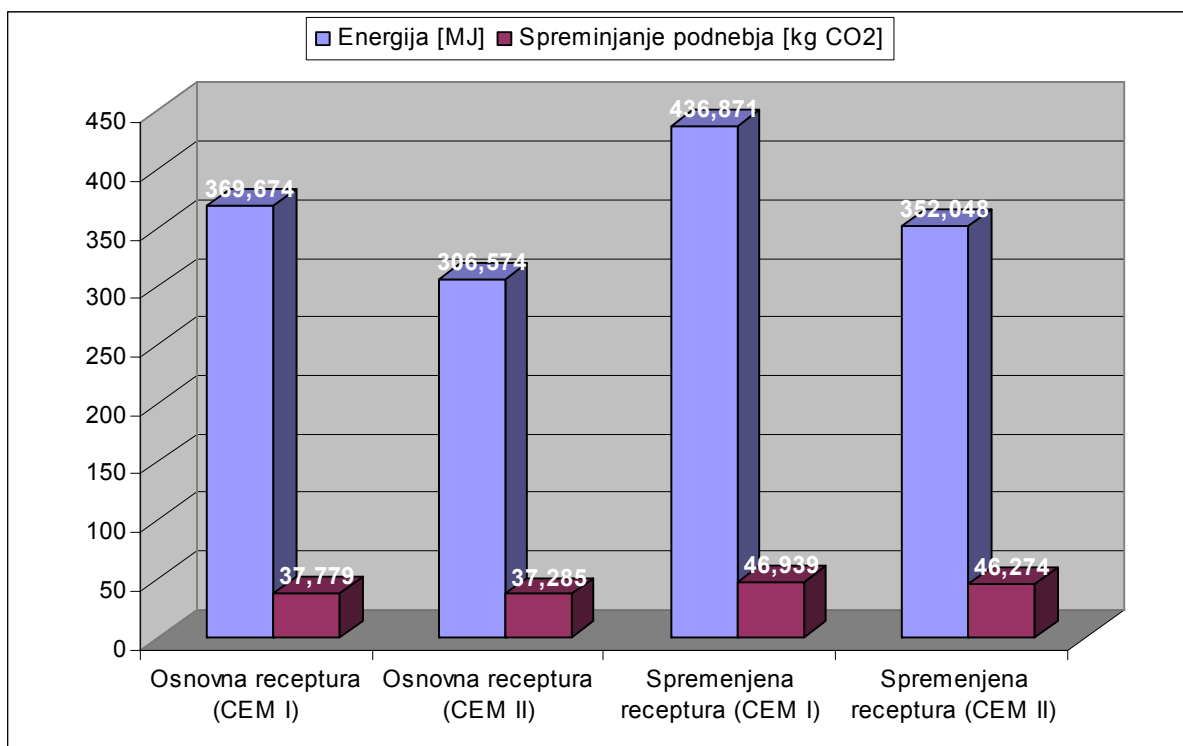
Z vidika oddajanja škodljivih emisij v vodo, zrak in tla, ter porabljene energije, je najugodnejše objekt po uporabi zapustiti (slika 5.20). Negativna plat takega ravnanja so ogromne količine odpadkov, saj večji del objekta predstavlja nekemične odpadke.

➤ Spreminjanje sestave armiranega betona

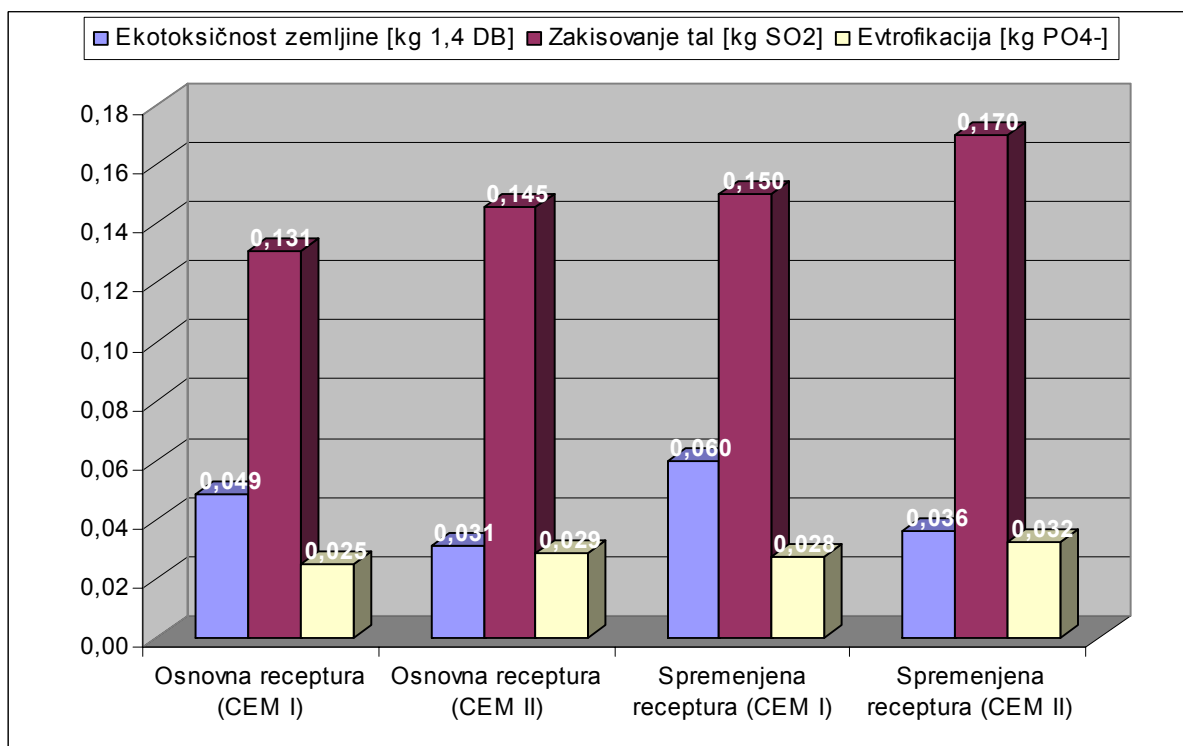
Analizirali smo življenjski cikel prefabricirane armiranobetonske medetažne plošče ob uporabi različnih sestav betonske mešanice ter dveh vrst cementa (CEM I 52,5 in CEM II/A-L 32,5R) (preglednica 1.8). Pri tem smo izhodiščno sestavo (a) spreminjali tako, da smo (b) zamenjali vrsto cementa, in da smo, (c) in (d), povečali količino cementa. Vidimo lahko, da zahteva proizvodnja, vgradnja in odstranitev AB plošče s spremenjeno sestavo betona ob enaki vrsti cementa kar 18% več energije, kar lahko pripišemo večji količini uporabljenega cementa. Osnovna sestava (a) se je izkazala kot boljša izbira glede na okoljevarstveni vpliv in glede porabe energije. Če v betonski mešanici povečamo količino cementa, se znatno povečajo tudi emisije plinov CO₂ (za 24%) in SO₂ (za 15%). Vsi navedeni vplivi so posledica povečane količine cementa v primerjavi z osnovno sestavo. Ob tem seveda ne smemo pozabiti, da ima beton z večjo količino cementa večjo tlačno trdnost, kar lahko rezultira v manjših dimenzijah konstrukcijskega elementa.

Preglednica 5.9: Sestave betonske mešanice (medetažna AB plošča)

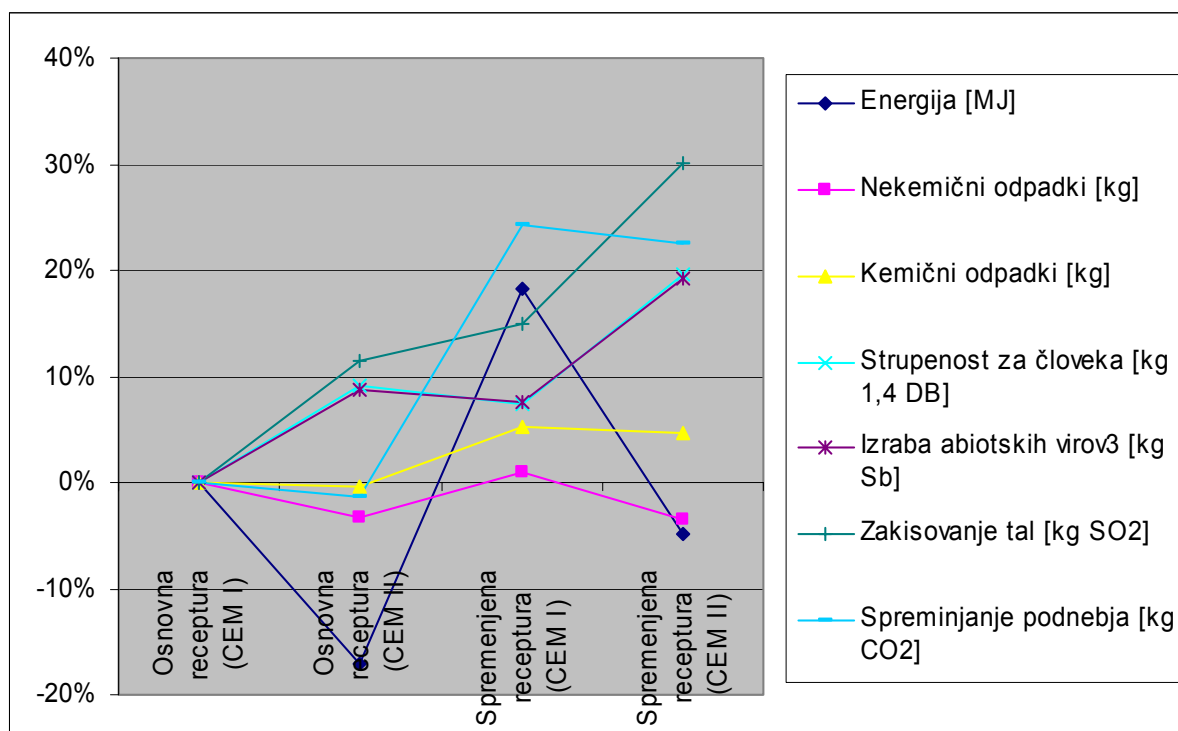
	Osnovna sestava (CEM I) (a)	Osnovna sestava (CEM II) (b)	Spremenjena sestava (CEM I) (c)	Spremenjena sestava (CEM II) (d)
Cement	305 kg/m ³	305 kg/m ³	410 kg/m ³	410 kg/m ³
Grobi agregat	1000 kg/m ³	1000 kg/m ³	960 kg/m ³	960 kg/m ³
Fini agregat	950 kg/m ³	950 kg/m ³	790 kg/m ³	790 kg/m ³
Dodatki	3,3 kg/m ³ (plastifikator)	3,3 kg/m ³ (plastifikator)	6,1 kg/m ³ (superplast.)	6,1 kg/m ³ (superplastifikator)
Voda	105 l	105 l	175 l	175 l



Slika 5.22a: Vpliv uporabe različnih sestav na porabo energije in izhajanje CO₂ (medetažna AB plošča)



Slika 5.22b: Vpliv uporabe različnih sestav na oddajanje škodljivih emisij v vodo, zrak in tla (medetažna AB plošča)



Slika 5.23: Vpliv uporabe različnih sestav na okoljske indikatorje (medetažna AB plošča)

Ugodne učinke uporabe cementa vrste CEM II zaznamo pri uporabi obeh sestav. Bistvene prednosti so v manjši porabi energije, manjši količini nekemičnih odpadkov ter v milejšem vplivu na ekotoksičnost zemljine in tal (slika 1.22a, slika 1.22b, slika 1.23). Razloge za takšne ugotovitve smo pojasnili že v razdelku 1.2.1.2. Uporaba CEM I ima poleg omenjenega še druge slabe lastnosti (glej razdelek 1.2.1.2).

V smislu funkcionalne enote glede na nosilnost lahko primerjamo AB plošči s sestavami betona (a) in (d), kjer sta razreda trdnosti betona in zato nosilnost plošče enaka. Vidimo lahko, da je za ta dva primera razlika med količinami vgrajene energije majhna (5%). Rezultati kažejo, da je količina emitiranega CO₂ večja v primeru (d) za 22%.

5.2.3 Ugotovitve parametričnih analiz

Z računalniškim programom EcoConcrete smo podrobno analizirali konstrukcijska elementa medetažne plošče in masivnega zidu. Na samem začetku smo podali nekatere predpostavke o lastnostih elementov, oddaljenosti skladišč cementa in agregata od betonarne, oddaljenosti

kamnoloma, od koder dovažamo agregat za proizvodnjo izbranih elementov, oddaljenosti gradbišča, življenjski dobi elementov, stopnji recikliranja uporabljenih materialov,...

Potem ko smo izvedli analizo z določenimi lastnostmi, smo spremenili nekatere dejavnike ter opazovali vplive sprememb na končni rezultat. V osnovi smo spreminjali:

- oddaljenost gradbišča,
- stopnjo recikliranja uporabljenih materialov,
- ravnanje z objektom po uporabi,
- sestavo betonske mešanice.

Po analiziranju različnih primerov in primerjanju dobljenih rezultatov smo prišli do pomembnih ugotovitev. Ugotovili smo, da večje transportne razdalje bistveno vplivajo na količino škodljivih emisij v zrak, vodo in tla, kar predstavlja negativen vpliv k naravovarstvenemu vidiku gradbenih konstrukcij. Poveča se tudi količina porabljene energije, kar predstavlja dodaten strošek za investitorje. Menimo, da bi bila ugodna rešitev k zmanjševanju oddajanja škodljivih snovi uporaba alternativnih prevoznih sredstev ali pa dobava obravnavanih gradbenih materialov iz virov, ki so locirani v bližini gradbišča.

Rezultati simulacij različnega ravnanja z objektom po uporabi so pokazali, da je odlaganje sklopov v naravo najugodnejše z vidika porabe energije ter oddajanjem strupenih plinov, ki so posledica predvsem delovanja transportnih vozil, drobilcev in ostale mehanizacije. S takim ravnanjem pa imamo po drugi strani ogromno količino odpadkov (nekemičnih), vprašljivo pa je tudi z vidika same podobe narave.

Recikliranje gradbenih elementov se je izkazalo tako z dobrimi kot tudi s slabimi vplivi na okolje. Medtem ko se količina porabljene energije, strupenost za človeka, izraba abiotskih virov, ekotoksičnost za sladko vodo, ekotoksičnost zemljine, zakisovanje tal in tanjšanje stratosferske ozonske plasti, zmanjšajo le za nekaj odstotkov, se mnogo bolj ugoden učinek opazen pri proizvodnji kemičnih in nekemičnih odpadkov. Teh je v primeru večje stopnje recikliranja znatno manj.

Analizirali smo tudi življenjski cikel konstrukcijskih sklopov ob uporabi različnih sestavov betonskih mešanic ter različnih vrst cementov. Glavna ugotovitev je bistveno manjša poraba energije v primeru uporabe cementa vrste CEM II/A-L 32,5R, ki je pogojena zlasti z njegovo sestavo (t.j. večjega deleža mineralnih dodatkov oziroma manjšega dela klinkerja).

6 ZAKLJUČKI

Gradbeni objekti in proizvodi tekom njihovega življenjskega cikla različno vplivajo na okolje. Za zmanjševanje teh negativnih vplivov bo v prihodnje potrebno posvečati več pozornosti tako projektiranju kot proizvodnji izdelkov, gradnji objektov in njihovi odstranitvi. Primeri, predstavljeni v petem poglavju tega diplomskega dela, kažejo, da lahko izdelki, ki služijo istemu namenu, na svoji življenjski poti različno vplivajo na obremenjevanje okolja. Zato je potrebno preučiti obremenitve okolja posameznih izdelkov v njihovi celotni življenjski dobi in ne samo v posamezni fazi.

Pri preučevanju vplivov izdelkov na okolje med celotnim življenjskim ciklusom se je kot zelo učinkovita metoda izkazala analiza življenjskega cikla (LCA). Z obstoječo programsko opremo EcoConcrete, ki je namenjena LCA analizi armiranobetonskih proizvodov oziroma konstrukcijskih sklopov, smo analizirali dva konstrukcijska sklopa (medetažna plošča in masivni zid) in prišli do pomembnih ugotovitev.

Ugotovili smo, da imajo na obremenitev okolja pomemben vpliv materiali, ki jih vgrajujemo (vključno z njihovo proizvodnjo), stopnja recikliranja vgrajenih materialov in način ravnanja z objektom po končani uporabi. Manjši vpliv ima transport materialov na mesto vgrajevanja in delovanje gradbene mehanizacije.

Analiza življenjskega cikla se je izkazala kot nujno potreben del načrtovanja gradbene proizvodnje. Njena glavna prednost je v tem, da lahko objekt analiziramo kot celoto ali po posameznih sklopih. Rezultat študije je popoln pregled vplivov obravnavanih elementov na okolje, od izkopa surovin, preko uporabe in vzdrževanja, pa do upravljanja z izdelkom/objektom po uporabi. Poleg izračuna o emisijah v vodo, tla in zrak, ki se posredno kažejo kot onesnaževanje okolja, sta zelo pomembna rezultata o porabljeni količini energije in surovin. Optimizirana poraba teh dveh virov namreč močno prispeva k varčevanju, kar je v današnjem času bistvenega pomena pri zagotavljanju ekonomske sprejemljivosti gradbenih projektov.

Na podlagi načel trajnostnega razvoja oz. trajnostne gradnje, ki so v današnjem času vse bolj prisotna, lahko zaključimo, da predstavlja presoja vplivov izdelka ali objekta na okolje poleg ekonomske presoje gradbenega projekta pomemben dejavnik v procesu odločanja o izbiri gradbene tehnologije, materialov in proizvodov, ki se v objekt vgrajujejo.

VIRI

Uporabljeni viri

Athena sustainable materials institute, <http://www.athenasmi.ca/about/lcaModel.html> (5.11.2005).

Environmental Protection Agency, <http://www.epa.gov/> (12.10.2005).

Environmental Protection Agency, <http://www.epa.gov/ORD/NRMRL/lcaccess/lca101.htm> (4.11.2005)

Environmental Protection Agency, <http://www.epa.gov/ORD/NRMRL/lcaccess/lca101.htm> (7.11.2005)

Environmental Protection Agency, <http://www.epa.gov/ORD/NRMRL/lcaccess/why/lca.htm> (23.06.2005).

GEMET - Splošni večjezični okoljski besednjak, <http://eionet.arso.gov.si/kpv/Gemet/> (10.10.2005).

International Standards Organization, www.iso.org (4.11.2005).

ISO 14040, 1997. Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework. 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.

Leiden University, <http://www.leidenuniv.nl/cml/ssp/projects/abioticdepl.html> (6.10.2005).

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

Meijer J.P.R., L. 2003. Learning about and work with EcoConcrete. EcoConcrete course book 1.1. 32 str.

Norris G.A., L. 2001. Integrating Life Cycle Cost Analysis and LCA. International Journal of life cycle assessment. 6, 2: 118-120.

Pšunder M., L. 1991. Ekonomika gradbene proizvodnje. Ljubljana, Tehniška založba Slovenije: 153 str.

Schmidt A.C., Jensen A.A., Clausen A.U., Kamstrup O., Postlethwaite D., L. 2004. A comparative life cycle assessment of building insulation products made of stone wool, paper wool and flax. International Journal of life cycle assessment. 9, 2: 122-129.

Schuermans A., Tukker A., Mulder E., L. 2002. LCA for the »Closed Building Cycle« system. An indicative LCA of the autonomous development and the closed building cycle in 2005. Dokument predstavljen na SETAC-evi deseti »LCA Case Studies Symposium«. 2-3 december 2002.

Tam V.W.Y., Tam C.M., Zeng S.X., Chan K.K., L. 2005. Environmental performance measurement indicators in construction. Building and Environment. 41, 2: 164-173.

Treloar G.J., Love P.E.D., Crawford R.H., L. 2004. Hybrid life-cycle inventory for road construction and use. Journal of construction engineering and management. 130, 1: 43-49.

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

Ostali viri

Cole R.J., L. 2000. Building environmental assessment methods: Assessing construction practices. Journal of construction and economics 18, 8: 949-957.

International iron and steel institute, http://www.worldsteel.org/lci_faq.php.

Life cycle analysis web resources, http://www.pre.nl/links/lca_links.htm.

Nixon P., Quillin K., Somerville G., L. 2004. Life-cycle assessment/analysis of concrete. Concrete. 38, 1: 31-33.

Nixon P., Quillin K., Somerville G., L. 2004. Sustainable concrete construction. Concrete. 38, 1: 29-30.

OneLook dictionary search, <http://www.onelook.com/>.

Slovenski inštitut za standardizacijo, <http://www.sist.si/slo/z1/z163.htm>.

Trusty W.B., Horst S., L. 2002.

http://www.athenasmi.ca/papers/down_papers/LCA_Tool_%20Integr_Paper.pdf (4.6.2005)

Vrtnik G. 2005. Sistemi za ravnanje z okoljem v slovenskih gradbenih podjetjih. Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. 97 str.