

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Инжењерство заштите животне средине

Ниво студија: Мастер академске студије

Предмет: Анализа животног циклуса

Број индекса: 307/2017

Миња 3. Велемир Радовић

Анализа животног циклуса у сектору зградарства

Мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Данијела Николић, доцент - ментор

2. _____

3. _____

Датум
одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да представи основу методе Анализе животног циклуса са посебним освртом на фазе које се спроводе коришћењем ове методе у сектору зградарства. Представити софтверске алате који се користе у ову сврху и дати преглед развијених приступа за Анализу животног циклуса зграда, као и преглед досадашњих истраживања у овој области.

Препоручена литература:

⇒1⇒ S. Reiter, *Life Cycle Assessment of Buildings - a review*, University of Liège, Liège, Belgium, 2010

⇒2⇒ A. Sharma , A. Saxena, M. Sethi, V. Shree, Varun, *Life cycle assessment of buildings: A review*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2010

⇒3⇒ L. Ngwepe, C. Aigbavboa, *A theoretical review of building life cycle stages and their related environmental impacts*, University of Johannesburg, Johannesburg, South Africa

⇒4⇒ H. Islam, M. Jollands, S. Setunge, *Life cycle assessment and life cycle cost implication of residential buildings - a review*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2014.

Крагујевац, 2020.

ментор:

др Данијела Николић, доцент

Резиме рада

Метода Анализе животног циклуса је широко применљива метода која служи за оцену утицаја производа или система производа на животну средину, током читавог његовог животног века. У оквиру овог рада је описана метода Анализе животног циклуса (*LCA*), њен историјски развој и методолошки оквир са фазама кроз које се она изводи.

Анализа животног циклуса се примењује и у сектору зградарства, јер је процена еколошке одрживости зграда и њихов утицај на животну средину веома битан. У раду су приказане фазе анализе животног циклуса зграда и дат је преглед софтверских алата који се користе у овој области. Такође, дат је и преглед истраживања о примени методе Анализе животног циклуса у зградарству према врстама коришћених методологија, како у стамбеном, тако и у нестамбеном сектору.

Кључне речи: Анализа животног циклуса, зграда, софтверски алати.

Abstract

The Life Cycle Analysis Method is a widely applicable method that serves to assess the impact of a product or product system on the environment, throughout its life cycle. This paper describes the Life Cycle Analysis (LCA) method, its historical development and methodological framework with the stages through which it is performed.

Life cycle analysis is also applied in the building sector, because the assessment of the ecological sustainability of buildings and their impact on the environment is very important. The paper presents the phases of life cycle analysis of buildings and provides an overview of software tools used in this area. Also, an overview of research on the application of the Life Cycle Analysis Method in buildings according to the types of methodologies used, both in the residential and non-residential sectors, is given.

Key words: Life cycle analysis, building, software tools.

САДРЖАЈ

1. УВОД.....	1
2. АНАЛИЗА ЖИВОТНОГ ЦИКЛУСА.....	2
2.1 Предности и ограничења <i>LCA</i>	3
2.2 Историјски развој <i>LCA</i>	4
2.3 Основни принципи <i>LCA</i>	6
2.3.1 Дефинисање циља и предмета студије	8
2.3.1.1 Функционална јединица.....	9
2.3.1.2 Алокација	9
2.3.1.3 Границе система	9
2.3.2 Анализа инвентара животног циклуса (LCI).....	10
2.3.3 Оцена утицаја животног циклуса (LCIA)	11
2.3.4 Интерпретација резултата.....	12
2.4 Методе анализе животног циклуса.....	13
2.4.1 Атрибутивна и последична метода анализе животног циклуса.....	13
2.4.2 Проверена и детаљна анализа животног циклуса.....	13
2.5 Животни циклус појединог материјала / производа	14
3. АНАЛИЗА ЖИВОТНОГ ЦИКЛУСА ЗГРАДЕ	15
3.1 Фазе животног циклуса зграде.....	16
3.1.1 Фаза снабдевања сировинама	17
3.1.2 Фаза производње.....	17
3.1.3 Фаза изградње	18
3.1.4 Фаза рада и одржавања.....	19
3.1.4.1 Рад и употреба.....	19
3.1.4.2 Одржавање и поправка.....	19
3.1.5 Фаза рушења.....	20
3.1.6 Фаза рециклаже и поновне употребе	20
3.2 Значај фаза животног циклуса зграде	20
3.2.1 Материјали наспрам енергије.....	21
3.2.2 Значај грађевинских делова	22
3.2.3 Значај материјала	23
3.3 Извођење анализе животног циклуса зграде.....	23

3.3.1	Материјали и количине	24
3.3.2	Животни век зграде и грађевинских производа.....	25
3.3.3	Подручје зграде	26
3.3.4	Енергија током фазе коришћења	26
3.3.5	Подаци.....	27
3.3.6	Алати за рачунање	27
3.3.7	Границе система.....	28
3.3.8	Категорије и показатељи	29
3.4	Специфичности <i>LCA</i> зграда	30
3.5	Приступи анализе животног циклуса зграда	32
3.5.1	<i>Process-based LCA</i> приступ	32
3.5.2	<i>EIO-LCA</i> приступ	33
3.5.3	Хибридни <i>LCA</i> приступ.....	35
4.	СОФТВЕРИ ЗА АНАЛИЗУ ЖИВОТНОГ ЦИКЛУСА.....	36
4.1	Општи захтеви за софтверске алате <i>LCA</i>	36
4.2	Корисници <i>LCA</i> софтверских алата.....	37
4.3	Сврха коришћења <i>LCA</i> софтверских алата.....	37
4.4	Примери техничких и методолошких захтева.....	38
4.4.1	Структура и приказ процеса	38
4.4.2	Транспарентност, флексибилност и једноставност за употребу	39
4.4.3	База података	40
4.4.4	Методе прорачуна, анализе несигурности и варијабилности.....	41
4.4.5	Методолошка својства.....	42
4.4.6	Сервис и подршка	43
4.4.7	Остале карактеристике	43
5.	ПРИМЕРИ ПРИМЕНЕ <i>LCA</i> ЗГРАДА	44
5.1	Студије енергије и материјала зграда	44
5.2	<i>LCA</i> студије са неколико категорија утицаја	45
5.3	<i>LCA</i> студије грађевинских компонената и система	45
5.4	Детаљне <i>LCA</i> студије	46
5.5	<i>LCA</i> вишеструких студија случаја	47
5.6	Студије са анализом осетљивости	47

5.7	<i>LCA</i> студије стамбених зграда	48
5.8	<i>LCA</i> студије нестамбених зграда	49
5.9	<i>LCA</i> студије грађевинских конструкција	51
6.	ЗАКЉУЧАК	53
7.	ЛИТЕРАТУРА	54

1. УВОД

Одрживи развој се базира на препознавању чињенице да када се ресурси троше брже него што се стварају они се троше до потпуног нестанка. Смањивање природних ресурса неизоставно води до повећања цена, а самим тим и до повећања сиромаштва и опадања квалитета живота. Свака одлука која се донесе у вези са набавком јавних добара има утицај на животну средину, економију и друштво у коме живимо. Ако би анализирали како је дошло до загађења животне средине могао би се извести закључак да у већини случајева разлог није једна погрешна одлука већ бројне свакодневне одлуке које су довеле до загађења средине [1].

Околна и људска цивилизација су два комплексна система који међусобно делују на Земљи већ хиљадама година. Последице које произлазе када два комплексна система делују један на другог тешко су предвидиве. Међутим, једна последица, која је све очигледнија у последње време, представља штетан утицај индустријске цивилизације на околину и екосистем у коме живимо и од ког зависимо. Неки утицаји су евидентирани пре много година и многи су успешно спречени, а неких утицаја постајемо свесни тек у задњих неколико година. Један од таквих утицаја је проблем глобалног отопљења.

Уништавајући околину и неповратно исцрпљујући природне ресурсе и богатства наносимо штету сами себи. Нажалост, често тога постанемо свесни тек када је прекасно. Сви штетни утицаји које је подстакла индустријализација човечанства последица су начина на који користимо материјале и енергију. Многи нису ни свесни на које све начине може животни циклус једног производа утицати на околину. Многи купујући неки производ у трговини не помисле како је тај производ настао, одакле материјал за тај производ, колико је енергије утрошено да се тај производ произведе и, што је најбитније, какве је последице све то оставило на околину у којој живимо. Да би спречили нестанак нафте, енергије, ресурса, итд, прво морамо разумети изворе, начине, правила и последице правилног конструирања производа с аспекта утицаја на околину. Управо је задатак конструктора да све то има на уму за време конструкције производа.

Циљ овог рада је упознавање са анализом животног циклуса зграда, односно утицај целог животног циклуса зграда, који се састоји из више фаза, на животну околину.

2. АНАЛИЗА ЖИВОТНОГ ЦИКЛУСА

Анализа животног циклуса (*Life cycle analyses - LCA*) је метода која се све више користи да процени утицај производа и услуге на животну средину, као и потрошњу њихових ресурса. То је алат за доношење одлуке о изради или квалитету одређеног производа уз идентификацију његовог утицаја на животну средину имајући у виду целокупан животни циклус производа. Може се рећи и да је то процес анализе материјала, енергије, емисије и отпада које „продукује“ производ (или систем услуга), кроз целокупан животни циклус од свог настанка тј. почев од ресурса и експлоатације материјала па до коначног одлагања. Ради се о процесу, у којем се вреднује како потрошња енергије и материјала, тако и утицај на здравље људи и стање екосистема. Овај метод користе све више истраживачи, индустрије, владе и еколошке групе да би донели праве одлуке везане за стратегије и одабир материјала. *LCA* студија може да буде корисна за решавање више проблема у области заштите животне средине. Корисна је за решавање неких од проблема [1]:

- ♦ идентификацију предности и слабости у односу на конкурентске производе,
- ♦ испитивање, анализирање и провера еко иновативних решења,
- ♦ развој нове концепције производа оптимизованог животног циклуса производа,
- ♦ унапређење карактеристика производа и процеса са аспекта утицаја на животну средину,
- ♦ оцењивања нових или постојећих технологија са аспекта дугорочног утицаја на здравље човека и животну средину,
- ♦ смањење емисија гасова стаклене баште који доводе до појаве глобалног загревања, киселих киша, оштећења озонског омотача, итд.

Анализа опсега утицаја различитих производа на животну средину има све већи значај и на располагању је много техника за анализу одређених аспеката утицаја производа на животну средину. Међутим, праћење и анализа утицаја производа на животну средину током читавог његовог животног циклуса је од кључне важности [2].

Постоје *ISO* стандарди који се односе на анализу животног циклуса било ког производа, процеса или услуге. *ISO* стандарди *ISO 14040* и *14044* захтевају укључивање четири фазе, и то:

- 1) дефинисање циља и предмета,
- 2) анализу инвентара,
- 3) процену утицаја и
- 4) интерпретацију.

LCA пружа увид у интеракције производног процеса и животне средине, билансе енергије и материје, као и могућности за антиципацију проблема везаних за третман остатка. Ова метода је детаљна, научна, свеобухватна и *ISO 14040/44* стандардизована, квантификује све релевантне емисије и ресурсе који се користе, као и утицаје на животну средину и здравље људи повезаних са производима, процесима, робама и услугама.

Прорачунава читав животни циклус, од екстракције сировина, кроз производњу, коришћење, одлагање и крајњи сценарио управљања отпадом [3].

Коришћењем *LCA* могу се разумети различити утицаји на животну средину повезани са производом у различитим фазама животног циклуса. Најважније је да се уз помоћ *LCA* могу утврдити жаришта у читавом животном циклусу производа која су одговорна за стварање најзначајнијих утицаја на животну средину. Ово омогућава смањење тих утицаја концентрацијом на проблематична подручја. Резултати *LCA* користе се у разноврсним применама као што су доношење одлука, развој производа и инжењеринг или маркетинг [2].

2.1 Предности и ограничења *LCA*

LCA пружа информације о вишеструким утицајима на животну средину које производи производ у току свог животног циклуса. Производ може бити проглашен зеленим производом ако га *LCA* оцени тако [2].

Неке од главних предности *LCA* укључују:

- ♦ *LCA* може систематски анализирати и бавити се еколошким профилем производа од његове фазе екстракције сировина до фазе одлагања користећи холистички приступ,
- ♦ *LCA* се може користити за упоређивање различитих производа или система производа, као и алтернативних процеса како би се идентификовао најбољи избор у погледу утицаја на животну средину,
- ♦ *LCA* је користан у квантификавању издвајања ресурса и емисија система производа или процеса у ваздух, воду и земљу и њихових повезаних утицаја,
- ♦ *LCA* се може користити за идентификовање жаришта у животном циклусу производа или за различите производне процесе система производа,
- ♦ на основу информација достављених од стране *LCA LCIA* и анализе критичних тачака, произвођач је способан да смањи утицај система производа или производних процеса на животну средину,
- ♦ *LCA* је свеобухватан алат што се тиче интервенција система производа или процеса на животну средину,
- ♦ *LCA* је одржив алат за одабир најбољег приступа управљању отпадом међу различитим опцијама,
- ♦ *LCA* може понудити јасне пословне погодности као што су:
 - нижи трошкови и повећање прихода,
 - унапређење бренда и корпоративног имиџа,
 - бољи приступ тржишту,
 - квантитативна основа за одрживост предузећа,
 - побољшани односи са купцима,
- ♦ *LCA* се може користити као алат за компаније да процене своју позицију у погледу одрживости, а на основу резултата *LCA* компаније могу да дефинишу своје циљеве одрживости,

- ♦ *LCA* се може користити за подизање еколошке свести запослених, купаца и јавности,
- ♦ *LCA* студије су корисне за јавну комуникацију (еко-означавање производа, декларације о животној средини, итд.),
- ♦ *LCA* студије могу се користити у компанијама за утврђивање учинка и управљање ризицима у ланцу снабдевања,
- ♦ *LCA* студије могу се користити за извештавање о животној средини, зелене набавке и поштовање прописа,
- ♦ *LCA* студије могу се користити за индустријско упоређивање.

Упркос овим потенцијалним користима, студије *LCA* подлежу ограничењима која укључују:

- ♦ *LCA* студија је врло сложена и изузетно захтевна за податке,
- ♦ *LCA* студије се изводе користећи различите претпоставке и поступке субјективне процене,
- ♦ *LCA* студије баве се само потенцијалним утицајима, а не стварним утицајима и захтевају висок степен стручности,
- ♦ доступност квалитетних података за *LCA* је проблематична,
- ♦ *LCA* студије обрађују само еколошке аспекте производа, а не и економске или социјалне аспекте,
- ♦ *LCA* не може да се бави локализованим утицајима и то је стационарни приступ, а не динамички,
- ♦ *LCA* модели се углавном фокусирају на индустријске активности и не узимају у обзир тржишне механизме или секундарне ефекте на технолошки развој,
- ♦ резултати изведени из детаљне *LCA* студије специфични су за локацију и нису директно применљиви на друге локације,
- ♦ доступност релевантних и ажурних база података је главно питање,
- ♦ транспарентност можда недостаје или се сматра да недостаје,
- ♦ *LCA* студије трпе неизвесности попут несигурности података и несигурности модела,
- ♦ *LCA* има ограничења у својој применљивости као алат за подршку одлучивању у планирању управљања отпадом и доношењу политика.

2.2 Историјски развој *LCA*

Анализа животног циклуса (*LCA*) започела је 1960-их. Забринутост због ограничења сировина и енергетских ресурса изазвала је интересовање за проналажење начина за кумулативно обрачунавање употребе енергије и за пројектовање будућих залиха и употребе ресурса. У једној од првих публикација те врсте, *Harold Smith* је известио свој прорачун кумулативних енергетских потреба за производњу хемијских производа на Светској енергетској конференцији 1963. године [4].

Касније 1960-их, глобалне студије моделирања објављене у „*The Limits to Growth*“ и „*A Blueprint for Survival*“ резултирале су предвиђањима ефеката светске популације, која се

мења, на потражњу за коначним сировинама и изворима енергије. Предвиђања за брзо исцрпљивање фосилних горива и климатолошке промене настале услед вишка отпадне топлоте подстакле су детаљније прорачуне потрошње и производње енергије у индустријским процесима. Током овог периода изведено је десетак студија за процену трошкова и еколошких импликација алтернативних извора енергије.

Истраживачи су 1969. године покренули интерну студију компаније *Coca-Cola* која је поставила темеље тренутним методама анализе животног циклуса у Сједињеним Државама. У поређењу различитих контејнера за пиће да би се утврдило који контејнер има најмање испуштања у животну средину и најмање утиче на снабдевање природним ресурсима, ова студија је квантификовала коришћене сировине и горива и оптерећења околине из производних процеса за сваки контејнер. Друге компаније и у Сједињеним Државама и у Европи извршиле су сличне упоредне анализе животног циклуса почетком 1970-их. Тада су многи доступни извори изведени из јавно доступних извора, попут владиних докумената или техничких докумената, јер конкретни индустријски подаци нису били доступни.

Процес квантификовања употребе ресурса и испуштања производа у животну средину постао је познат као анализа ресурса и заштите животне средине (*REPA*), као што се то практикује у Сједињеним Државама. Формирањем јавних интересних група које подстичу индустрију да обезбеди тачност информација у јавном домену и несташицом нафте почетком 1970-их, извршено је приближно 15 *REPA* између 1970. и 1975. године. Кроз овај период је развијен протокол или стандардна методологија истраживања за извођење ових студија. Ова методологија у више корака укључује бројне претпоставке. Током ових година, претпоставке и технике које су коришћене подлегле су значајном прегледу од стране *EPA* и главних представника индустрије, што је резултирало развијањем разумних методологија.

Од 1975-их до почетка 1980-их, како је интересовање за ове свеобухватне студије јењавало услед све слабијег утицаја нафтне кризе, забринутост за животну средину се пребацила на питања управљања опасним отпадом и кућним отпадом. Међутим, током овог времена настављало се спровођење анализа животног циклуса и побољшавала се методологија кроз полагање ток од око две студије годишње, од којих се већина фокусира на енергетске потребе. Током овог периода, европски интерес је порастао успостављањем Дирекције за животну средину (*DG X1*) од стране Европске комисије. Европски практичари *LCA* развили су приступе паралелне онима који се користе у САД-у. Поред рада на стандардизацији прописа о загађивању у целој Европи, *DG X1* је 1985. године издао Директиву о контејнерима за течну храну, која је задужила компаније чланице да надгледају потрошњу енергије и сировина и стварање чврстог отпада у контејнерима за течну храну.

Када је чврсти отпад 1988. године постао светски проблем, *LCA* се поново појавио као алат за анализу еколошких проблема. Како расте интересовање за сва подручја која утичу на ресурсе и животну средину, методологија за *LCA* се поново побољшава. Широка база консултаната и истраживача широм света даље усавршава и проширује методологију.

Забринутост због непримерене употребе *LCA* за подношење широких маркетиншких тврдњи произвођача производа 1991. године резултирала је изјавом једанаест државних

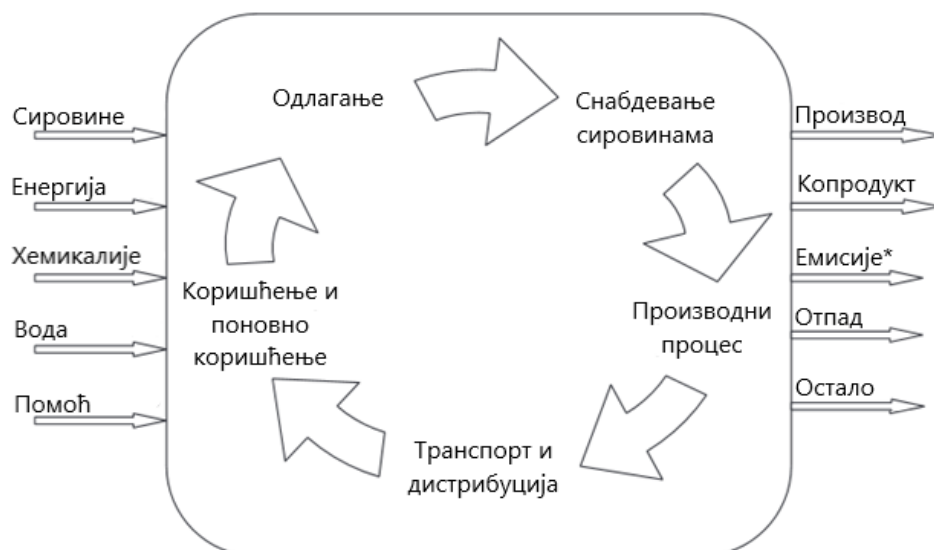
тужилаца у САД која осуђује употребу *LCA* резултата за промоцију производа док се не развију јединствене методе за спровођење таквих процена. Ова акција, заједно са притиском других еколошких организација да стандардизују *LCA* методологију, довела је до развоја *LCA* стандарда у Међународној организацији за стандардизацију (*ISO*) 14000 (1997. до 2002).

Програм Уједињених нација за животну средину (*UNEP*) удружио је снаге са Друштвом за токсикологију и хемију животне средине (*SETAC*) 2002. године како би покренуо Иницијативу за животни циклус. Три програма Иницијативе имају за циљ примењивање размишљања о животном циклусу у пракси и побољшање пратећих алата кроз боље податке и показатеље. Програм за управљање животним циклусом (*LCM*) ствара свест и побољшава вештине доносилаца одлука производњом информативних материјала, успостављањем форума за размену најбољих пракси и извођењем програма обуке у свим деловима света. Програм за анализу инвентара животног циклуса (*LCI*) побољшава глобални приступ транспарентним, висококвалитетним подацима животног циклуса смештањем и омогућавањем стручних група чији рад резултира информационим системима заснованим на мрежи. Програм за оцену утицаја животног циклуса (*LCIA*) повећава квалитет и глобални досег показатеља животног циклуса промовишући размену мишљења међу стручњацима чији рад резултира низом широко прихваћених препорука.

2.3 Основни принципи *LCA*

Основни концепт *LCA* односи се на анализу утицаја производа или услуге на животну средину током читавог његовог животног века. *ISO* дефинише *LCA* као „компилацију и процену улаза, излаза и потенцијалних утицаја система производа на животну средину током његовог животног циклуса“, а *LCA* студије анализирају еколошке аспекте и потенцијалне утицаје током животног циклуса производа од набавке сировина кроз производњу, употребу и одлагање [2].

Основни концепти које треба узети у обзир за *LCA* су снабдевање сировинама, производни процеси производа, транспорт, дистрибуција, малопродаја, употреба и одлагање, као што је приказано на слици 2.1. Типични *LCA* укључује различите улазе који су укључени у систем животног циклуса производа, попут сировина, хемикалија, енергије, воде и других помоћних средстава, као и различите излазе система, односно производе, копродукте, емисије у ваздуху, води и земљишту, отпад и друга испуштања у животну средину.



Слика 2.1. Основни концепт LCA [2]

LCA се састоји од четири главне фазе, како их дефинише ISO, а то су:

- 1) дефинисање циља и предмета,
- 2) анализа инвентара животног циклуса (*Life Cycle Inventory - LCI*),
- 3) оцена утицаја животног циклуса (*Life Cycle Impact Assessment - LCIA*) и
- 4) интерпретација резултата.

Односи између ових фаза приказани су на слици 2.2, која приказује LCA као итеративни процес.



Слика 2.2. Оквир анализе животног циклуса [3]

2.3.1 Дефинисање циља и предмета студије

Први део *LCA* студије се састоји од дефинисања циља студије и предмета студије [2].

Циљ анализе је процена еколошких перформанси структурног система зграде, у перспективи животног циклуса, тј. узимајући у обзир све фазе од производње материјала до краја животног века.

Циљ студије укључује и разлог за извођење студије, као и намеравану примену резултата и циљну групу.

Крајњи циљ у развоју овог модела је пружање конзистентног алата за анализу животног циклуса зграда, омогућавајући референтну структуру структурног система стамбених и пословних зграда.

Анализа животног циклуса може се извршити за један производ или се може користити за упоређивање различитих производа или група производа. Ако се ради о једној студији производа, циљ може бити идентификовање могућности за побољшање идентификовањем жаришта у животном циклусу. У случају упоредне студије, циљ може бити и идентификација производа са најмањим утицајем на животну средину.

Обе врсте студија могу се изводити само за интерну употребу или користити за саопштавање релевантних информација јавности. У овом другом случају, критички преглед студије од стране стручњака је обавезан у сврху осигурања квалитета.

Дефиниција предмета студије укључује детаље о врсти производа који се проучавају и предвиђеним функцијама тих производа. У овој фази се такође разматрају:

- ◆ дефинисање граница производа / система,
- ◆ фазе животног циклуса које треба укључити у анализу,
- ◆ функционална јединица студије,
- ◆ категорије утицаја изабране за ову студију,
- ◆ поступци алокације који су праћени у студији,
- ◆ гранични критеријуми,
- ◆ врста *LCIA* методологије која ће бити усвојена,
- ◆ захтеви за подацима и квалитетом података,
- ◆ извори података (примарни и секундарни извори морају бити јасно означени као такви),
- ◆ анализа неизвесности,
- ◆ претпоставке,
- ◆ врста коришћеног *LCA* софтвера / методологије прорачуна,
- ◆ ограничења студије,
- ◆ избор вредности и необавезни елементи који ће бити укључени,
- ◆ захтев и врста критичког прегледа који ће се спровести,
- ◆ интерпретација и
- ◆ врста и формат завршног извештаја.

У извештају треба јасно навести системске границе и разговарати о оправданости или критеријумима за такав избор.

2.3.1.1 Функционална јединица

Функционална јединица је мерило функције проучаваног система и даје референцу са којом могу бити повезани улазни и излазни подаци. Ово омогућава упоређивање два битна али различита система. На пример, функционална једница за систем боја се може дефинисати као површина (ft^2) за период од 10 година. Према томе, могуће је упоређивати утицаје на животну средину два различита система боја са истом функционалном јединицом [2, 3].

Функционална јединица, према *ISO 14040*, дефинисана је као „квантификована перформанса система производа која се користи као референтна јединица“. Други појам који се односи на функционалну јединицу је референтни ток, који је *ISO* поново дефинисао као „меру излаза из процеса у датом систему производа потребну за испуњавање функције изражене функционалном јединицом“. За упоредне студије, функционалне јединице морају бити доследне.

2.3.1.2 Алокација

Други критични параметар је алокација, дефинисана према *ISO 14040*, као „подела улазних и излазних токова процеса или система производа између система производа који се испитује и једног или више других система производа“. *LCA* практичар треба да избегава расподелу према смерницама *ISO* стандарда. У случају да није могуће избећи алокацију, треба користити методе препоручене *ISO* стандардима за *LCA* [2].

2.3.1.3 Границе система

Границе система одређују који процеси треба да буду укључени у *LCA*. Дефинисање граница система је делом субјективан избор, направљен током фазе дефинисања предмета студије када су границе првобитно постављене. Могу се размотрити следеће границе [2, 3]:

- ♦ границе између технолошког система и природе - животни циклус обично почиње експлоатацијом сировина и енергетских извора из природе. Коначне фазе обично обухватају производњу отпада и/или производњу топлоте;
- ♦ географска област - географија игра обично кључну улогу код већине *LCA* студија, нпр. инфраструктуре, као што су производња електричне енергије, управљање отпадом и транспорти системи, варирају од једног региона до другог;
- ♦ временски хоризонт - границе се морају поставити не само у простору, већ и у времену. У суштини *LCA* се спроводи како би се проценили тренутни утицаји и предвидели будући сценарији. Ограничења временских граница дају укључене технологије, животни век, итд.

Граничне критеријуме је *ISO* дефинисао као „спецификацију количине протока материјала или енергије или нивоа еколошког значаја повезаног са јединственим процесима или системом производа који се искључују из студије“. У пракси се може следити неколико граничних критеријума заснованих на утицају масе, енергије и животне средине како би се

утврдило које улазе треба укључити у процену, а које излазе треба испратити у животну средину.

2.3.2 Анализа инвентара животног циклуса (LCI)

LCI (Life Cycle Inventory Analysis) обухвата све фазе које се односе на прикупљање и управљање подацима. Подаци морају да буду валидни и повезани са функционалном јединицом како би се омогућило прикупљање података. Прикупљање података укључује евидентирање релевантних улаза и резултата животног циклуса производа или процеса. Он такође обухвата и калкулације за квантификацију материјала и улазну и излазну енергију зграде. Детаљан опис сировина и енергије се користи у свим тачкама и емисијама штетних гасова, отпадним водама и чврстог отпада. Примери излаза су смањење емисије, емисије загађујућих материја или физичког оптрећења [2, 3].

Сакупљање података је најважнији део анализе животног циклуса. Коришћење података из других студија доста поједностављује посао, али се то мора урадити уз велику пажњу, како би резултати били репрезентативни. Због тога је кључни аспект квалитет података.

Анализу инвентара животног циклуса (*LCI*) *ISO* је дефинисао као „фазу процене животног циклуса која укључује састављање и квантификацију улазних и излазних података за производ током његовог животног циклуса“. Инвентар се односи на компилацију различитих еколошких улаза и резултата који су укључени у животни циклус производа. *LCI* анализа захтева квантификацију следећих елемената:

- ◆ енергетске потребе,
- ◆ потребе за сировинама,
- ◆ атмосферске емисије,
- ◆ емисије у воду,
- ◆ емисије у земљиште,
- ◆ чврсти отпад и
- ◆ друга испуштања у животну средину.

Јединствени процес је *ISO* дефинисао као најмањи елемент разматран у анализи инвентара животног циклуса. У случају података прикупљених из секундарних извора, попут техничких докумената или база података или владиних или научних публикација, у извештају би се на њих требало јасно позивати.

Следе четири корака која треба следити у анализи инвентара животног циклуса:

- 1) израда дијаграма тока процеса унутар дефинисане границе система,
- 2) развој методологије прикупљања података,
- 3) прикупљање релевантних података,
- 4) процена и извештавање о резултатима.

Дијаграм тока је једноставан алат који помаже мапирању улаза и излаза у процес или систем. Треба илустровати међусобне односе између појединачних јединствених процеса

како би се створила слика животног циклуса у смислу основних улаза и резултата. Слика 2.3 указује на типичан дијаграм тока процеса са уопштеним јединственим процесима.



Слика 2.3. Општи дијаграм тока процеса процеса [2]

Развој методологије прикупљања података започиње дизајном одговарајућег техничког листа који испуњава циљеве и предмет дефинисан за студију. Подаци се затим прикупљају и валидирају, након чега би требали бити повезани са процесном и функционалном јединицом која је претпостављена за студију.

Релевантни извори података укључују, али нису ограничени на, резултате испитивања из лабораторија, читавања бројила са опреме, индустријске листове података, извештаје, рачуне за комуналне услуге, часописе, књиге, патенте, претходне *LCI* студије, владине документе и спецификације опреме и процеса.

2.3.3 Оцена утицаја животног циклуса (*LCIA*)

LCIA (*Life Cycle Impact Assessment*) процењује значај потенцијалних утицаја на животну средину заснован на резултатима анализе животног циклуса. На овај начин се повезују улазни и излазни подаци са утицајима. То укључује избор категорија утицаја, индикатора категорије и модела категоризације. Категорије утицаја су одабране и дефинисане у односу на циљ и предмет студије *LCA* [2, 3].

Оцену утицаја животног циклуса *ISO* дефинише као „фазу процеса чији је циљ разумевање и процена величине и значаја потенцијалних утицаја на животну средину за систем производа током животног циклуса тог производа“. Ово је корак који детаљно

описује ефекте потрошених ресурса и емисија испуштених у атмосферу, како је утврђено у анализи података животног циклуса. Ефекти на животну средину и здравље људи услед активности (улази и излази) идентификовани у претходном кораку квантификовани су у *LCIA*.

За спровођење *LCIA* треба следити следеће кораке:

- ♦ избор и дефиницију категорија утицаја - одабир релевантних категорија утицаја на животну средину као што су глобално загревање или токсичност за људе;
- ♦ класификацију - додељивање резултата *LCI* релевантним категоријама утицаја. На пример, класификација емисија угљен-диоксида у односу на категорију утицаја глобалног загревања;
- ♦ карактеризацију - квантитативно моделирање утицаја животног циклуса повезаних са емисијама / ресурсима. На пример, моделирање потенцијалног утицаја који произилази из емисија гасова стаклене баште као што су угљен-диоксид и метан на категорију утицаја глобалног загревања;
- ♦ нормализацију - прилагођавање израза карактерисаних резултата утицаја заједничкој референци која омогућава поређење сваког фактора;
- ♦ груписање - повезивање различитих показатеља утицаја у погледу фактора као што су локација, локална, регионална или глобална;
- ♦ пондерисање - кумулативни израз резултата као један индикатор животне средине. Пондерисање треба да нагласи најважније потенцијалне утицаје међу различитим проучаваним категоријама утицаја;
- ♦ процену и извештавање о резултатима *LCIA* - процена резултата *LCIA* ради постизања бољег разумевања њихове поузданости.

Избор категорија утицаја, класификација и карактеризација су обавезни елементи *LCIA* према *ISO 1404X* стандардима. Нормализација, груписање и пондерисање су опционални елементи у *LCIA* под истим стандардом.

2.3.4 Интерпретација резултата

Последњи корак у *LCA* процесу је интерпретација резултата. Циљ ове фазе је да процени налазе и донесе закључке и препоруке у складу са дефинисаним циљем и предметом студија. Резултати *LCI* и *LCIA* се комбинују и пријављују како би се добио комплетан приказ студије. Интерпретација животног циклуса *LCI* или *LCIA* садржи три главна елемента [2, 3]:

- 1) индентификацију значајних питања заснованих на резултатима *LCI* и *LCIA* фаза *LCA*;
- 2) процену резултата, која узима у обзир потпуност, осетљивост и доследност,
- 3) закључке, ограничења и препоруке.

2.4 Методе анализе животног циклуса

2.4.1 Атрибутивна и последична метода анализе животног циклуса

Постоје два главна приступа вођењу *LCA*, последична и атрибутивна метода. Атрибутивна *LCA* (*ALCA*) метода захтева опис еколошких атрибута животног циклуса (еколошки релевантни физички токови у и из животног циклуса) и његових подсистема. Сходно томе, *ALCA* се концентрише на описивање ефеката промена у животном циклусу и њихов утицај на низ могућих одлука [2].

ALCA је позната и као „уобичајено пословање“, јер су коришћене вредности просечне вредности засноване на тренутним трендовима и уобичајеној пословној пракси. Међутим, последична *LCA* фокусира се на предвиђање последица ако се промене уређаји у постојећим процесима.

Из *ALCA* се може стећи разумевање утицаја процеса који се користе за производњу, потрошњу и одлагање производа без разматрања индиректних ефеката који произилазе из промена нивоа производње предметног производа. Појединости о просечној јединици производа могу се добити од *ALCA* и стога је корисно за праксе као што је обрачун угљеника заснован на потрошњи. Студије *ALCA* ослањају се на стехиометријске везе између улаза и излаза и отуда резултати изведени из *ALCA* имају познату тачност. Помоћу *ALCA* могуће је идентификовати могућности за смањење директних утицаја који произилазе из различитих фаза животног циклуса производа.

Из *CLCA* се може стећи разумевање ефеката промена нивоа производње (укључујући потрошњу и одлагање) производа. *CLCA* студије зависе од економских модела (баве се односима између потражње за улазима, еластичности цена, понуде и тржишних ефеката копродуката) и стога резултате проистекле из *CLCA* студија треба користити са опрезом, јер тачност резултата није добро позната.

2.4.2 Проверена и детаљна анализа животног циклуса

У погледу нивоа детаља, постоје две квантитативне врсте *LCA* [2]:

- ◆ проверена и
- ◆ потпуна или детаљна *LCA*.

Проверена *LCA* спроводи се тамо где су потребни брзи резултати, а циљ је разумети где су главни утицаји производа / процеса / услуге на животну средину током животног циклуса. Ова врста студије може се изводити у одсуству примарних података и може се у потпуности ослањати на секундарне податке, и као такве се обично користе само у интерне сврхе.

Потпуна или детаљна *LCA*, како и само име каже, пролази кроз све фазе *LCA* и стриктно се придржава *ISO 1404X* стандарда. Комплетна *LCA* студија заснована је на примарним подацима, уз помоћ секундарних података, како је предвиђено *ISO* стандардима, и може се саопштити јавности.

2.5 Животни циклус појединог материјала / производа

Друштво за токсикологију и хемију животне средине (SETAC) у свом извештају идентификује животни циклус генеричког индустријског производа на следећи начин (слика 2.4) [3]:

- ♦ снабдевање сировинама - све активности неопходне за извлачење сировина и енергије из околине, укључујући и транспорт пре обраде;
- ♦ прерада и производња - активности потребне за претварање сировина и енергије у жељени производ. У пракси се ова фаза често састоји од низа потфаза са полупроизводима који се формирају дуж ланца прераде;
- ♦ дистрибуција и транспорт - испорука финалног производа крајњем кориснику;
- ♦ употреба, поновна употреба и одржавање - употреба готовог производа током његовог животног века;
- ♦ рециклирање - започиње након што производ изврши своју почетну функцију и накнадно се рециклира у оквиру истог система производа (рециклирање затворене петље) или улази у нови систем производа (рециклирање отворене петље);
- ♦ управљање отпадом - започиње након што производ изврши предвиђену функцију и врати се у животну средину као отпад.



Слика 2.4. Животни циклус производа [3]

3. АНАЛИЗА ЖИВОТНОГ ЦИКЛУСА ЗГРАДЕ

Зграде су развијене да обезбеде људске потребе, као што је склониште, али се међутим утврђује да оне могу много да допринесу утицајима на животну средину. Зграде су значајна компонента човекове околине и, сходно томе, доприносе економији и утицајима на животну средину, укључујући глобалне климатске промене. Један од начина на који развој зграда утиче на животну средину је коришћење необновљивих природних ресурса попут земље и минерала. Поред тога, квалитет живота многих људи је у критичном стању, јер се земљиште и други ресурси троше брзином која није одржива. Након што се необновљиви ресурси у потпуности искористе, или у тренутку када постану сматрани прескупим или их је тешко извући из земље, неће постојати други избор него да се траже или развију алтернативна решења за испуњавање људских потреба. Међутим, због разлике у развоју догађаја, сваки пројекат је изграђен и функционише у различитом социјално-економском, политичком и физичком окружењу и стога може побољшати неке животе, а истовремено смањити квалитет других [5].

Одржива изградња може се постићи применом алата који се баве анализом целокупног животног циклуса, планирањем и организацијом локације, одабиром материјала, поновном употребом и рециклажом материјала, смањењем отпада и енергије.

LCA се примењује у грађевинском сектору где је пресудан део процене еколошке одрживости зграда. Приступ анализе животног циклуса помера фокус из фактора који су везани за завршену зграду, и укључује цео процес изградње. *LCA* је укључен у Европске стандарде одрживе градње, уредбу о грађевинским производима и у сертификоване шеме за одрживу градњу. За различите људе који раде на процени еколошког дела одрживих зграда, ова анализа пружа основна знања о параметрима који доприносе коришћењу ресурса и потенцијалним утицајима на животну средину током животног века зграде. Укључујући *LCA* још у почетној фази изградње зграде, омогућава се процена еколошког утицаја појединих елемената или другачије фазе животног циклуса зграде [1].

LCA је углавном развијен за дизајнирање производа са малим утицајем на животну средину, али зграде су посебни производи. Постоје практични разлози између *LCA* грађевинског материјала и комбинације компонената и *LCA* потпуног животног циклуса зграде. Функционална јединица грађевинског материјала и комбинације компонената се фокусира само на финални производ, док код потпуне изградње она је корисна површина једног m^2 . Већина *LCA* података о пуном животном циклусу је преузета из цртежа архитеката и инжењерских спецификација, док *LCA* грађевинског материјала и комбинације компонената је базирана на индустријским процесима.

Неки специфични проблеми *LCA* студије везани за зграде су:

- ◆ свака зграда је јединствени производ,
- ◆ дуг животни век зграде и односу на потрошну робу,
- ◆ утицај фазе употребе,
- ◆ различита функција и састав грађевина и њихових компоненти,

- ♦ утицај околине,
- ♦ алокација за рециклажу.

Зграде су локално произведене и нормално једнствене (ретко има много њих које су исте врсте). Осим тога, две зграде изграђене на исти начин могу се развијати другачије током њиховог животног века.

3.1 Фазе животног циклуса зграде

Анализа животног циклуса зграде обухвата, као што је већ напоменуто, процену целог животног циклуса. То значи укључивање шест фаза процеса (слика 3.1) [6]:

- 1) снабдевање сировинама,
- 2) производњу грађевинских производа,
- 3) фазу изградње,
- 4) фазу коришћења,
- 5) рушење и
- 6) рециклажу и одлагање материјала.

Најчешће, прве три фазе су најпознатије, иако у пракси постоји довољно података, калкулације могу бити проблематичне. Следеће три фазе су засноване на сценарију, односно мора се предвидети како ће се зграда користити, одржавати и на крају срушити.



Слика 3.1. Животни циклус зграде [3]

3.1.1 Фаза снабдевања сировинама

Прва фаза животног циклуса зграде је снабдевање сировинама. Сировине укључују гвоздену руду, кречњак, боксит, бакар, дрво, нафту, између осталог, које су природно уграђене у земљу. Ови ресурси се прерађују помоћу технологија у корисније облике који се користе као грађевински материјали попут челика, цемента, алуминијума и пластике. Вађење природних ресурса има велики утицај на оскудицу необновљивих ресурса, док истовремено троши друге ресурсе као што су вода, струја или гориво. Наставак вађења ових ресурса на крају ће довести до њиховог исцрпљивања, осим ако се не пронађу алтернативна решења за задовољавање потражње за ресурсима. Људи и њихова потражња за већом материјалном предношћу користе више ресурса него што природа може да настави да пружа [3, 5].

Вађење сировина не резултира само исцрпљивањем ресурса, већ укључује и потрошњу великих количина енергије и воде, као и испуштање емисија и загађујућих материја. Рударске операције се ослањају на енергију засновану на фосилним горивима за погон опреме и машина, а такође користе и транспортну опрему и инфраструктуру које су неопходне за транспорт сировина до места прераде или употребе, што дефинише границу између вађења и производње. Употреба фосилног горива резултира великим доприносом емисији гасова са ефектом стаклене баште и испуштањем других загађујућих материја, попут угљен-моноксида, у атмосферу. Утицај рударства на животну средину наставља се дуго након што се процес рударства одвије, што резултира ситуацијама као што су киселе кише. Ови ефекти загађују околну окржење, укључујући локалне залихе воде, неприродно високим концентрацијама хемикалија и минерала. Многе рударске активности користе хемикалије да би помогле у одвајању вредних руда од отпадних материјала и те хемикалије остају као остаци у јаловиштима дуги низ година. Остали утицаји рударског процеса укључују ерозију и губитак биодиверзитета, посебно тамо где се велики остатак земљишта уклања за отворене сече или за сечу дрвета из шуме.

3.1.2 Фаза производње

Фаза производње се односи на процесе који укључују производњу грађевинских производа који су укључени у изградњу зграде, као и транспорт на одређену локацију [3, 5].

Производња је фаза која најчешће обухвата највећи проценат потрошње енергије и емисије. Ова фаза започиње са испоруком сирових ресурса и других материјала на капији и завршава се испоруком грађевинских материјала малопродајном предузећу.

У фази производње природни ресурси се претварају у основне грађевинске материјале као што су челик, пластика и сл., а процеси конверзије за производњу ових материјала су углавном сложени. Због сложености процеса екстракције и конверзије, троши се велика количина енергије која се углавном заснива на фосилним горивима и због тога се велике количине загађујућих материја испуштају у ваздух. Процењује се да енергија материјала чини између 15% и 60% потрошње енергије у животном циклусу зграде. Индустрије производње материјала приписују се једној од највећих економија потрошње горива. Поред

тога, процењује се да емисије угљеника из индустрије цемента производе 5% глобалних емисија угљеника [5].

Отприлике 50% свих материјала извучених из земљине коре произведе се у грађевинске материјале и производе [5]. Поред тога, прерадом сировина може се створити велика количина отпада, а такође и контаминирати околина. Штавише, фаза производње укључује транспорт нуспроизвода до потрошача и у процесу фазе изградње зграде, укључује превоз од произвођача до локације, што значи да се троши више енергије из фосилних горива и самим тим емитује више стакленичких гасова у атмосферу.

За потребе изградње зграде, фаза производње може, на пример, подразумевати даљу обраду материјала. Ова даља обрада материјала може имати још већи утицај на животну средину. То је због тога што индустријска прерада углавном захтева велику количину воде и енергије која се углавном заснива на фосилним горивима, а која ослобађа више стакленичких гасова у атмосферу.

3.1.3 Фаза изградње

Фаза изградње представља додатни корак производње где се појединачни производи и компоненте састављају у једну зграду. Ова фаза почиње са транспортом појединачних производа и подсклопова од дистрибутивних центара до градилишта у сваком граду. Просечна или типична транспортна удаљеност од фабрике до градилишта се користи у *LCA* процесу [3, 5].

Она може бити веома важна у погледу коришћења енергије и других ефеката на животну средину, јер може да резултира стварањем велике количине отпада. Додатак транспорту производа и потрошњи енергије коју троше машине на градилишту, као што су дизалице и мешалице, је и транспорт опреме од и до градилишта, бетонске форме и повремено загревање и вентилација.

Фаза изградње зграда је једна од најдужих фаза, углавном код зграда на више спратова, и током ове фазе троше се велике количине материјала. Стога је у основи изградња у свом најширем смислу одговорна за изграђено окружење.

Кључни утицаји на животну средину повезани са употребом материјала укључују исцрпљивање природних ресурса и испуштање чврстог и течног отпада и токсичних емисија у ваздух, док је очување енергије и воде приоритет. Процењује се да грађевински сектор чини између једне трећине и половине тока робе широм света. Индустрија високоградње троши 40% материјала који улазе у глобалну економију и генерише 40-50% глобалне производње емисија гасова стаклене баште и агенаса киселих киша [5]. Током ове фазе, погрешан избор спецификација материјала, добављача и конструктивних технологија, као и пропусти у управљању доводе до расипања материјала и сходно томе, до штете по животну средину и финансијских губитака. За поступак изградње на локацији потребна је енергија, обично у облику електричне енергије, за напајање електричних алата и управљање машинама и другом опремом. Готово све грађевинске активности имају директан утицај на животну средину и на земљишне ресурсе, као социјалне и економске последице њихове

примене. Еколошка разматрања у грађевинарству нераздвојно су повезана са питањима земљишних ресурса. Изградња тако има значајне нежељене утицаје на земљишне ресурсе, како физички, тако и промењеном или индукованом употребом земљишта и повезаним средствима за живот, у социјално-економском контексту. Други извор утицаја на животну средину током фазе изградње је транспорт материјала. Транспорт грађевинског материјала и компонената до градилишта углавном се обавља тешким камионима којима су потребна фосилна горива. Штавише, фаза изградње повезана је са великом потрошњом воде за активности као што су очвршћавање бетона, сузбијање прашине и за потребе чишћења. Фаза изградње је такође позната по огромној генерацији отпадних материјала који се углавном шаљу на депоније. Ови отпадни материјали контаминирају земљу или воду тамо где се бацају. Неки отпадни материјали из грађевинских активности се спаљују, а поступак спаљивања један је од фактора који доприносе емисији стакленичких гасова, попут CO_2 .

3.1.4 Фаза рада и одржавања

Током фазе коришћења потребно је узети више фактора у обзир. То су фактори попут грајања, хлађења, расвете и коришћење воде, као и увођење нових производа као што су боје, подне облоге и друге унутрашње обраде. Такође се мора узети у обзир и чињеница да се зграда може преуређивати или реконфигурисати неколико пута током свог живота (облик поновне употребе), са променама унутрашњег садржаја и евентуалним додавањем нових производа и система. Током одржавања, неки делови зграде могу бити измењени (као нпр. кречењем), док се одређени делови не виде све док зграда не буде срушена [3, 5].

3.1.4.1 Рад и употреба

Фаза експлоатације зграда је највероватније најдужа, јер неке зграде имају животни век преко 50 година. Вода и енергија су потребни за кориснике и опрему, као и топлотна вентилација и климатизација, системи осветљења и електрична и телекомуникациона мрежа. Генерално, енергија која се користи најчешће се добија из извора заснованих на фосилним горивима. Остали извори примарне енергије су сирова нафта, гас, хидро, нуклеарни, нафтни производи и обновљиви извори и отпад. Зграде такође захтевају основне услуге као што су цевоводи за снабдевање водом и одлагање канализационог отпада, итд. Три фазе зграда, наиме изградња, рад и деконструкција, користе приближно 15% светских ресурса слатке воде, 40% светске енергије и производе приближно 23-40% светских емисија стакленичких гасова. Само управљање зградама, широм света чини око 25-40% укупне финалне потрошње енергије. Укупни утицаји зграде на животну средину током фазе њеног рада могу бити истог реда величине као они генерисани током целог њеног животног циклуса [5].

3.1.4.2 Одржавање и поправка

Одржавање и санација могу се обавити два пута пре него што се зграда сруши. Велике количине чврстог отпада настају током одржавања и обнављања, а такође се велике количине природних ресурса поново троше за нове материјале и тиме се понављају све претходне фазе одржавања стварајући још већи утицај на животну средину [5].

3.1.5 Фаза рушења

Пета фаза животног циклуса зграда је фаза рушења. Рушење је поступак демонтаже конструкције, одвајањем компонената ради уклањања целе зграде. Рушење зграда је неопходно, јер као и сви други производи, зграде имају ограничен животни век. Поред тога, због друштвених разлога као што су сигурност, здравље, развој инфраструктуре и поред техничког унапређења, зграде морају бити срушене како би се створило места за корисније које ће задовољити тренутне потребе и очекивања релевантних корисника. Рушењем великих грађевина, попут зграда, стварају се велике количине чврстог отпада, што доводи до последње фазе у којој се мора поступати са чврстим отпадом. На пример, или отпад иде на спаљивање, процес током којег се испуштају велике емисије гасова стаклене баште који утичу на квалитет ваздуха, или на рециклирање, или се створени отпад баца на депоније где застарева. Остали утицаји на животну средину повезани са рушењем зграде су ослобађање емисија гасова стаклене баште кроз сагоревање фосилног горива које се користи за машине за рушење, као и транспорт отпада на депоније или материјала до места за прераду. Одложени материјали могу се разградити и испрати у земљу, што потенцијално може довести до еутрофикације околине. Када се органски материјали као што је дрво распадају, могу ослободити CO_2 (угљен-диоксид) и CH_4 (метан) у земљиште и атмосферу [3, 5].

Рушење означава крај животног циклуса зграде, али то не значи крај и за појединачне компоненте материјала и производа које се затим соучавају са следећом фазом, фазом рециклаже.

3.1.6 Фаза рециклаже и поновне употребе

Ово је завршна фаза у животном циклусу појединачних компоненти и производа који чине зграду. То је веома тешко подручје за анализу животног циклуса зграде, јер је непредвидиво [3, 5].

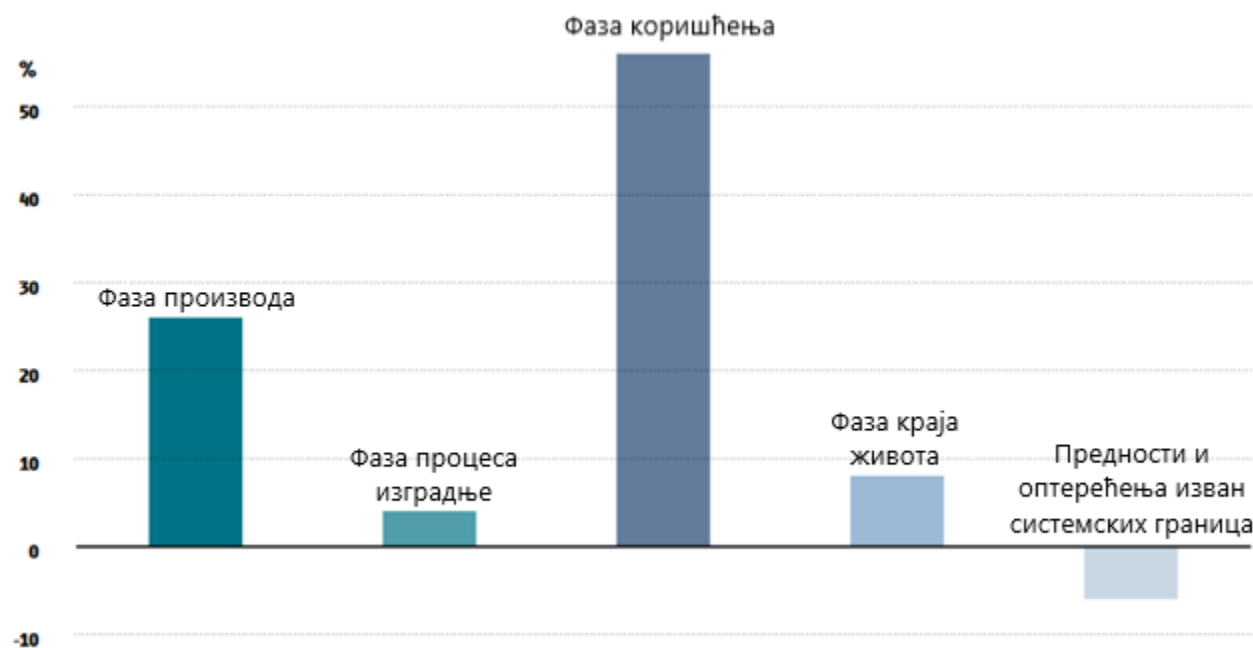
Неке компоненте или материјали могу се поново користити директно након демонтаже (попут прозора, врата и сл.). Иако се опоравком и поновном употребом постојећих материјала могу избећи или смањити неки утицаји употребе нових материјала, поновна употреба ових материјала није без одређених сопствених утицаја. Неки од ових материјала могу, на пример, захтевати поновно бојење и због тога ће утицати на животну средину бојом. За материјале који захтевају поновну обраду, гориво ће бити потребно за транспорт, енергију и друге ресурсе да би се створили нови производи, па ће стога поновна обрада имати утицаја на животну средину.

3.2 Значај фаза животног циклуса зграде

Анализа животног циклуса може пружити преглед утицаја на животну средину у различитим фазама животног циклуса зграде [7].

Слика 3.2 приказује како анализа животног циклуса зграде резултира за одређену категорију утицаја. У овом случају потенцијал глобалног загревања може се поделити на

различите укључене фазе животног циклуса. Одатле је могуће усредсредити се на најистакнутије фазе животног циклуса и покушати смањити негативне доприносе.



Слика 3.2. Пример дистрибуције доприноса утицаја на животну средину из различитих фаза животног циклуса. У овом случају, дистрибуција потенцијала за глобално загревање дата је у процентима [7]

Анализа животног циклуса помаже у информисању приоритета у оптимизацији и процени појединачних процеса у односу на ширу перспективу укупног животног циклуса зграде. На пример:

- ♦ Како се дистрибуирају утицаји материјала наспрам утицаја оперативне енергије?
- ♦ Колико различити делови зграде доприносе укупним утицајима?
- ♦ Како се избор материјала може оптимизовати како би се смањили утицаји на животну средину?

3.2.1 Материјали наспрам енергије

Као што је приказано на слици 3.2, анализа животног циклуса омогућава да се процеси поделе на оне који су повезани са употребом енергије током фазе употребе зграде и оне који су повезани са материјалима [7].

Утицаји на животну средину због употребе енергије традиционално су највише доприносили резултатима анализе животног циклуса зграде. Будући да се очекује да ће будуће зграде трошити мање оперативне енергије, а та ће енергија долазити из обновљивих извора енергије, то значи да ће утицаји грађевинских производа постати пропорционално значајнији у укупној анализи животног циклуса зграде.

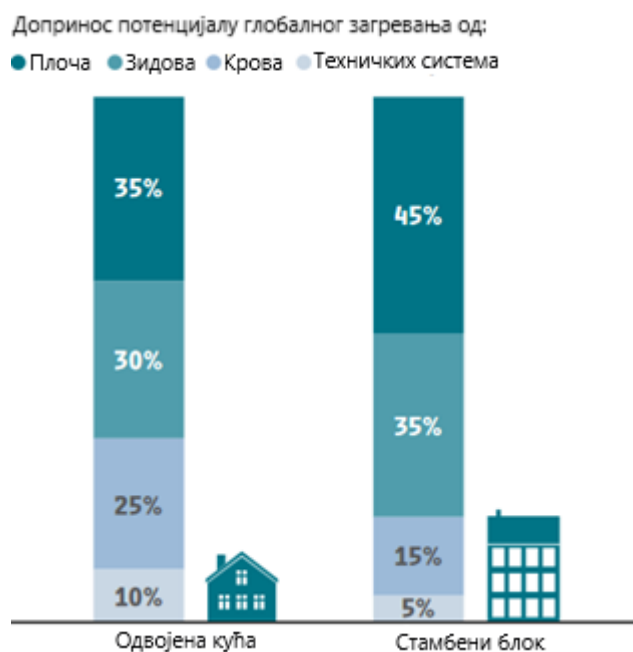


Слика 3.2. Материјали наспрам оперативне енергије [7]

3.2.2 Значај грађевинских делова

Анализа животног циклуса пружа превидни приказ како различити делови зграде доприносе укупним утицајима на животну средину. На овај начин се може добити помоћ при одлучивању којих делова зграде треба бити свестан уколико је потребно ограничити потенцијалне утицаје зграде на животну средину [7].

Или, као што је приказано на слици 3.3, могу се тестирати различити облици зграда и видети како се мењају укупни резултати као и расподела између сваког дела зграде.

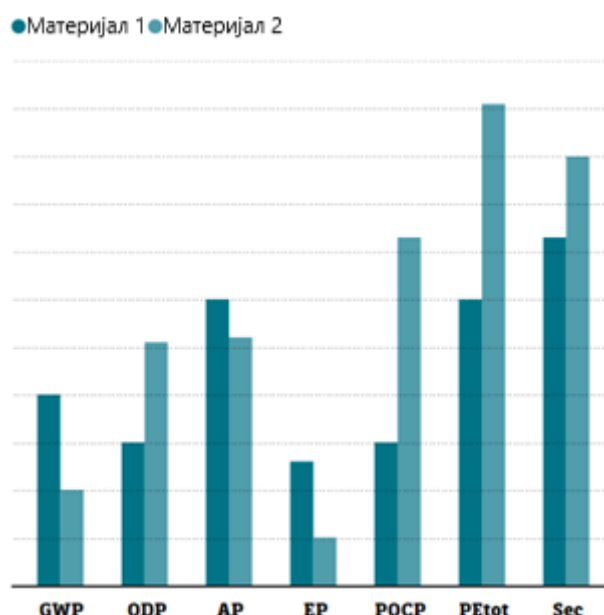


Слика 3.3. Допринос потенцијалу глобалног загревања у зависности од облика зграде [7]

3.2.3 Значај материјала

Помоћу анализе животног циклуса могу се упоређивати материјали или грађевински производи са истим својствима у односу на њихов еколошки профил. На овај начин може се добити помоћ у процени еколошког профила различитих решења, на пример, избором материјала за грађевинске делове [7].

Потребно је имати на уму да се резултати многих категорија утицаја на животну средину не могу комбиновати да би се добио један резултат. То значи да је потребно посебно проценити резултате за различите категорије (слика 3.4).



Слика 3.4. Упоређивање материјала или грађевинских производа са истим својствима [7]

3.3 Извођење анализе животног циклуса зграде

Да би се извела анализа животног циклуса зграде, потребно је имати знање и приступ следећем [7]:

- ♦ информације о згради:
 - материјали и количине,
 - животни век зграде и грађевинских производа,
 - подручје зграде,
 - енергија у фази рада,
- ♦ алати:
 - основни подаци,
 - алати за рачунање,
- ♦ специфична разматрања анализе животног циклуса:
 - фазе животног циклуса,
 - категорије и индикатори.

3.3.1 Материјали и количине

Подаци о количинама свих употребљених материјала користе се за израчунавање потенцијалног утицаја зграде на животну средину у прорачуну анализе животног циклуса [7].

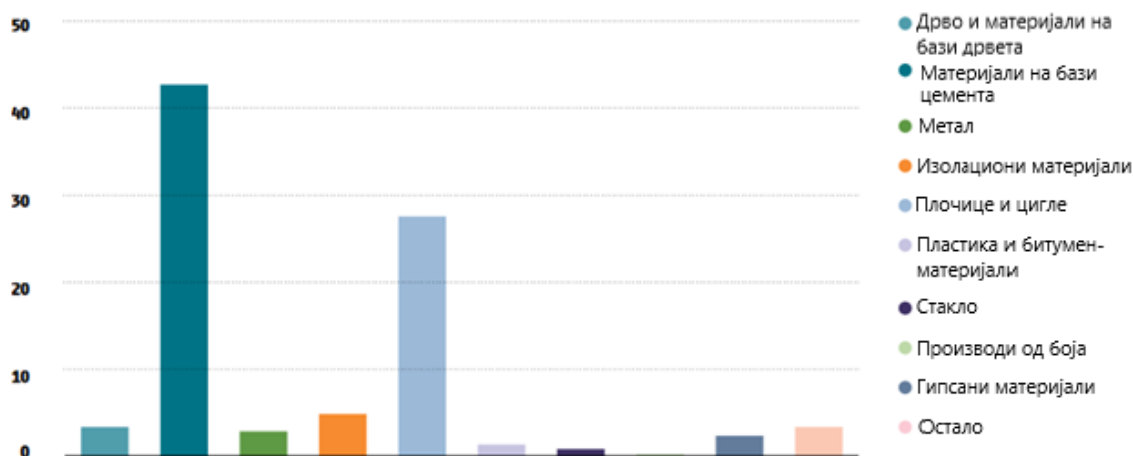
У зависности од циља анализе животног циклуса, спецификација може бити више или мање детаљна. У сврху ране провере, можда ће бити довољно извршити прорачуне главних компонената у примарним деловима зграде. Детаљнија процена садржи више информација, нпр. детаљнију спецификацију материјала. У принципу, анализа животног циклуса се може израчунати до последњег завртња и заптивке у згради, али то може бити дуготрајан поступак за тако детаљно испитивање.

Прикупљање података о потрошњи материјала засигурно је најдуготрајнији део израде анализе животног циклуса. То је зато што у нормалним околностима никада не постоји коначни прорачун укупне потрошње свих појединачних материјала. Због тога је често потребно саставити ове информације на основу, на пример:

- ◆ тендерске документације,
- ◆ BIM (*Building information modeling*) модела,
- ◆ цртежа,
- ◆ производне информације за коришћене грађевинске производе.

После тога су сви материјали повезани са једним или више скупова података за процесе који ће бити укључени у животно циклус. Скупови података могу потицати из база података или из специфичних декларација о производима за заштиту животне средине.

У већини зграда материјали на бази цемента или цигла чине велики део укупне масе зграде, као што је приказано на слици 3.5. Међутим, то не мора нужно значити да ови материјали представљају најбржи допринос резултатима анализе животног циклуса. Килограм по килограм, могу постојати велике разлике у подацима о животној средини између материјала.



Слика 3.5. 1.000 kg материјала коришћеног за изградњу типичне једнопородичне куће [7]

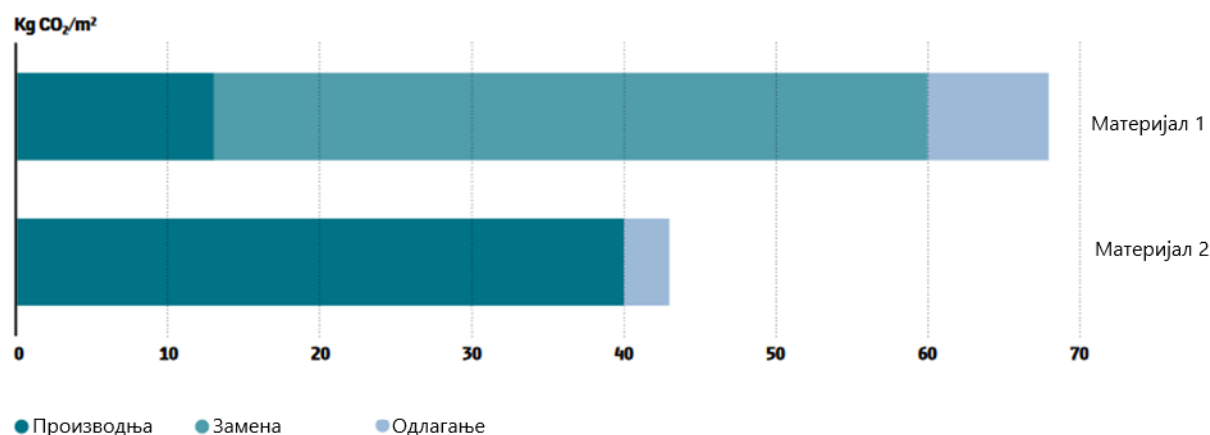
3.3.2 Животни век зграде и грађевинских производа

Референтни период студије означава укупан број година за који се израчунава анализа животног циклуса. Одабрани период стога има значај од тога колико је замена грађевинских производа укључено у прорачуне и колика је укупна потрошња оперативне енергије за фазу коришћења. Као полазиште, препоручује се да се животни век зграде користи као референтни период студије [7].

Референтни период студије се често користи у анализи резултата. Резултати анализе животног циклуса зграде се дистрибуирају по броју година како би се учинили упоредивим са резултатима анализе животног циклуса осталих зграда, иако животни век упоређених зграда можда није идентичан. Ако се за ову годишњу расподелу утицаја користи кратак временски период, на пример 30 година, дуготрајни материјали ће изгледати лошије него ако је изабран период од 70 година.

Животни век грађевинских производа који су укључени у зграду такође је значајан за укупне резултате анализе животног циклуса зграде. У смислу да, што је чешће потребно заменити грађевински производ, то је потребно произвести већи број грађевинских производа. Повећана производња доводи до даљег утицаја на животну средину, па могу постојати користи повезане са предвиђањем дуготрајних материјала за употребу у дизајну зграде.

На слици 3.6 приказан је пример дистрибуције два различита материјала са врло различитим животним веком.



Слика 3.6. Пример дистрибуције две алтернативе за одељак материјала са врло различитим животним веком [7]

Са слике се може видети да се материјал 1 мора често замењивати и стога у целини доприноси више резултатима *LCA* зграде него материјал 2 који је дуготрајан.

3.3.3 Подручје зграде

Да би се упоредили резултати анализе животног циклуса различитих зграда, резултати се морају израчунати помоћу истих јединица. У већини случајева, резултати за сваки показатељ израчунавају се по m^2 годишње, нпр. 10 kg еквивалентног CO_2/m^2 годишње. У овом случају, укупне емисије гасова са ефектом стаклене баште зграде деле се током читавог животног циклуса преко површине пода зграде и броја година које су изабране као референтни период студије [7].

Подна површина зграде је површина која представља збир бруто површина свих спратова. Бруто површина се мери према спољној страни спољних зидова (слика 3.7).



Слика 3.7. Пример шеме за мерење површине пода [7]

3.3.4 Енергија током фазе коришћења

Очекивани енергетски захтеви зграде током фазе коришћења важан су допринос резултатима укупне анализе животног циклуса зграде. То значи да је важно знати [7]:

- ♦ потребу за енергијом по m^2 годишње у kWh или MJ - потребно за рад зграде и
- ♦ састав снабдевања енергијом - утицаји на животну средину могу се знатно разликовати, а све у складу са технологијом која стоји иза производње електричне и топлотне енергије. На пример, утицаји на животну средину котла на гас и дрво се разликују.

Европски стандарди за анализу животног циклуса зграда, прописују употребу енергетских *EPD*-а за израчунавање утицаја електричне енергије и топлоте на животну средину.

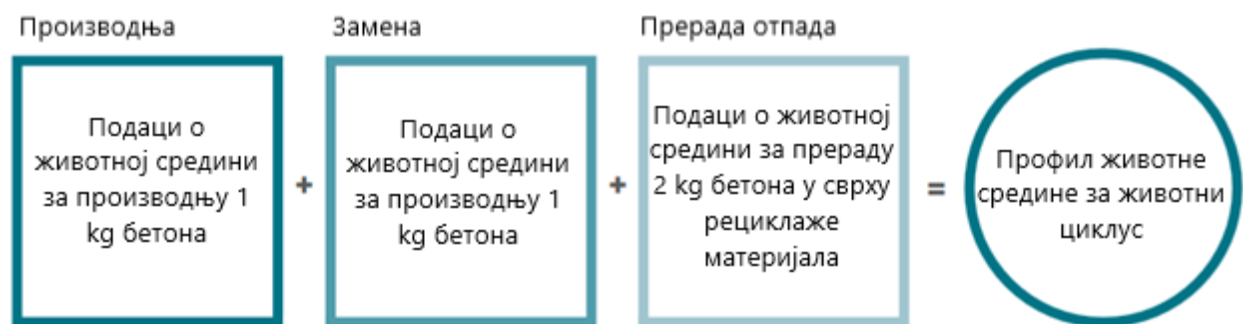
Будући да се комбинације напајања електричном енергијом и даљинским грејањем временом мењају, постоје различити приступи у начину на који је то укључено у животни циклус зграде, за који се очекује да ће трајати до 100 година у будућности. У основи постоје два различита приступа:

- 1) садашњи сценарио за снабдевање енергијом користи се за цео референтни период студије - садашња комбинација енергетске технологије користи се сваке године у прорачуну референтног периода студије;
- 2) пројектовани сценарио за снабдевање енергијом - овај приступ покрива пројекцију енергетских технологија које стоје иза снабдевања енергијом.

3.3.5 Подаци

Подаци за материјале и процесе који су укључени у животни циклус зграде повезани су са релевантним подацима анализе животног циклуса. Подаци могу бити генерички подаци, тј. просечни подаци за групу производа или могу бити подаци специфични за производ датог произвођача. Ови подаци се добијају путем база података анализе животног циклуса или кроз изјаве о производима за животну средину (*EPD*) за одређене производе [7].

Подаци анализе животног циклуса за одабране фазе животног циклуса појединих грађевинских производа повезани су са употребљеним количинама грађевинских производа у згради, као што је приказано у примеру на слици 3.8. Иста веза се примењује за све грађевинске производе који су укључени у зграду и на основу тога се израчунавају укупни резултати анализе животног циклуса.



Слика 3.8. Пример повезивања између количина и података о животној средини [7]

3.3.6 Алати за рачунање

Стварни прорачун резултата анализе животног циклуса треба извршити када су идентификоване све количине материјала и када су доступни подаци за све материјале и процесе [7].

Софтверски алати намењени за ову сврху знатно олакшавају прорачуне. Они ће често пружати и могућности за различите начине приказивања и анализе резултата, што може олакшати употребу коначних резултата анализе животног циклуса.

На тржишту постоји читав низ различитих алата. За већину ових алата потребан је неки облик лиценце, али постоје и неки алати који су доступни бесплатно.

На слици 3.9 приказани су примери изабраних резултата за изградњу канцеларијског блока, израчунати помоћу софтверског алата *LCAbyg*.



Слика 3.9. Примери изабраних резултата [7]

3.3.7 Границе система

Дефиниција граница система анализе животног циклуса важан је параметар када треба спровести анализу животног циклуса. Граница система говори које су фазе и који процеси током сваке фазе укључени у анализу животног циклуса [7].

Разумевање граница система анализе животног циклуса је такође важно када резултате анализе животног циклуса грађевинских производа треба користити у процени зграде како би се на основу њих доносиле одлуке.

Границе система морају бити јасно дефинисане и лако уочљиве да би резултати анализе животног циклуса били транспарентни.

Модуларни концепт за дефинисање системских граница *LCA* је илустрован на слици 3.10.

Модул	A1-A3			A4-A5		B1-B7							C1-C4				D
Фаза животног циклуса	Фаза производа			Фаза процеса изградње		Фаза коришћења							Фаза краја живота				Предности и оптерећења изван нивоа границе система
Процеси	Снабдевање сировинама	Транспорт	Производња	Транспорт	Процес изградње	Коришћење	Одржавање	Поправка	Замена	Обнова	Употреба енергије	Употреба воде	Деконструкција / рушење	Транспорт	Прерада отпада	Одлагање	Поновна употреба и потенцијал за рециклирање
	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D

Слика 3.10. Предмет *LCA* [7]

Узимајући у обзир предмет анализе, информације садржане у сваком модулу табеле са претходне слике су следеће:

- ♦ модули *A1-A3* - обухватају производњу свих грађевинских материјала који се користе у темељима и структури зграде, све до капије фабрике;
- ♦ модул *A4* - превоз материјала потребног за темеље и структуру зграде, од места производње до градилишта. Ови подаци се заснивају на најбољим претпоставкама или сценаријима узимајући у обзир локацију зграде и врсту превоза;
- ♦ модул *A5* - употреба опреме и машина за изградњу темеља и подизање конструкције. У случају да ове информације нису доступне, могу се размотрити сценарији. У моделу се не узима у обзир припрема терена за изградњу зграде, постављање помоћне инфраструктуре и изградња приступа градилишту;
- ♦ модули *B1-B5* - ови модули укључују све релевантне податке у вези са одржавањем, поправком и обнављањем структурног система зграде. То би требало да укључује употребу материјала и опреме и управљање насталим отпадом. Подаци за ове модуле требају се заснивати на сценаријима узимајући у обзир процењени радни век структурних компонената зграде;
- ♦ модул *C1-C4* - ови модули укључују све релевантне податке од разградње структурног система зграде до фазе у којој сви структурни материјали достижу на крају, тј. отпада. То укључује употребу опреме и машина за деконструкцију грађевинске конструкције, сортирање материјала и транспорт насталих материјала до крајњег одредишта;
- ♦ модул *D* - овај модул додељује нето користи због поновне употребе, рециклирања и опоравка материјала. Подаци за овај модул треба да се темеље на сценаријима узимајући у обзир просечну доступну технологију, тренутне праксе и тренутне стопе рециклирања, поновне употребе и опоравка материјала.

3.3.8 Категорије и показатељи

Потенцијални утицаји на животну средину и потрошња ресурса из животног циклуса зграде израчунавају се у категоријама, на пример, глобално загревање. Унутар сваке категорије ниво утицаја мери се у индикаторској јединици. На пример, индикаторска јединица је *kg* еквивалентног *CO₂* за категорију глобално загревање [7].

Категорије одабране за анализу животног циклуса требале би одражавати што је могуће шире потенцијалне последице за три главна подручја заштите:

- 1) здравље људи,
- 2) природно окружење и
- 3) природни ресурси.

Неке од категорија и индикатора који доприносе детаљнијој слици последица по животну средину и залиха ресурса су категорије приказане на слици 3.11.

Важно је запамтити да се резултати који се добијају у изабраним категоријама не могу одмах сабирати по категоријама. Само са претходним поступком који укључује принципе нормализације и пондерисања, резултати се могу сабирати у све категорије. Међутим, то је процес који захтева специјализовано знање, јер подразумева уравнотежење различитих еколошких последица.



Слика 3.11. Примери различитих категорија за даљу илустрацију потенцијалних утицаја и употребе ресурса [7]

3.4 Специфичности LCA зграда

Животни век зграда је дуг и веома га је тешко предвидети. Ово узрокује много непоузданости, посебно током фазе коришћења и завршне фазе. На пример, производња енергије и завршни процеси ће се вероватно развијати током животног века зграде, али је њих веома тешко предвидети. Због тога се подаци често базирају на стварној пракси. Поред тога, неке основне хипотезе LCA методологије, као што је временска стабилност, не слажу се са карактеристикама зграде. Временска стабилност, што значи да се производни систем сматра стабилним системом, подразумева да када производ дође до краја свог века трајања, LCA претпоставља да ће настали отпад бити третиран као на почетку свог животног века. Због веома дугог века трајања грађевинских производа и зграда, ова хипотеза даје веома непоуздане резултате [1].

Утицај фазе коришћења не зависи само од претпостављеног века трајања зграде, већ и од понашања станара. Пошто је то веома тешко предвидети, морају се користити просечне вредности или одговарајући сценарији. У Европским сценаријима најкритичнија је фаза коришћења. То је због разних продуката који се емитују у атмосферу услед велике потрошње енергије за грајање, хлађење и вентилацију (*HVAC*), загревање воде и расвету. Допринос ове фазе у зградама у тропском делу Земље није толико велики, због мање потрошње енергије за *HVAC*. Због тога корисници и истраживачи анализе животног циклуса зграда треба правилно да процене енергетске захтеве током фазе коришћења зграде у зависности од климатских услова и понашања људи.

Зграде често имају више функција и садрже различите компоненте. Штавише, зграде и грађевинске компоненте варирају у свом саставу и функционисању током њиховог животног циклуса. С обзиром да ће се изградња и његова употреба током времена променити, анализа животног циклуса се сматра динамичким системом укључујући и потенцијалне фазе накнадне изградње и функционалне промене. Међутим, осим замене застакљивања или системских компоненти, већина *LCA* зграда никад не узима у обзир реновирање или темељне модификације кроз које већина зграда пролази пре него што достигне завршну фазу.

На понашање објекта утиче његова околина (клима, оријентација, близина инфраструктуре, итд). Део утицаја на животну средину које ствара зграда су локалног карактера, нпр. утицај на комшилук (микроклиматски услови, ветар, доступност сунчеве светлости, итд), унутрашње окружење (квалитет ваздуха у затвореном простору, топлотни комфор, итд), утицај на локалну екологију (повезани зелени простори, еколошки осетљива подручја, итд) и урбана инфраструктура (носивост транспортног система, водоснабдевање, итд). Дакле, границе система *LCA* зграда нису јасне.

Свака студија *LCA* зграда мора да одреди своје границе. Локални утицаји се не могу одредити традиционалним *LCA* методологијама, па се због тога обично и не разматрају. На пример, *Peuportier* је за утицај зграде на животну средину разматрао само њено спољашње окружење. Аспектима који се односе на унутрашњи комфор требали би да се баве други постојећи алати. Због тога за његово истраживање нису битни квалитет унутрашњег ваздуха, осветљење и бука, као ни анализа топлотне удобности. Међутим, они се узимају у обзир у дефиницији функционалне јединице.

Још један проблем код *LCA* зграда представља расподела (алокација) за рециклажу. Рециклирани производи смањују утицаје на животну средину, посебно на коришћење ресурса и ставрање отпада. Постоје два типа грађевинског материјала за рециклажу. Челик је пример материјала који се након рециклаже може користити за исту примену. Ово се зове рециклажа затворене петље. Са друге стране, рециклирани бетон се не може користити поново у исте сврхе, али се од њега могу добити гранулице које се користе приликом изградње путева, и тако се може избећи коришћење других ресурса, у овом случају шљунка. Ово се назива рециклажа отворене петље. Ту спадају материјали који су деградирани током свог коришћења или процеса рециклаже. Поновна употреба грађевинског материјала се

третира као рециклажа затворене петље. Поновна употреба се дефинише као процес током ког се материјал не трансформише између два циклуса, док се током процеса рециклаже трансформише у друго стање. Избор грађевинских материјала који се касније могу ефикасније рециклисати значајно могу смањити утицај животног циклуса.

Када се *LCA* користи за упоређивање утицаја алтернативних материјала на животну средину то захтева посебне мере опреза. Већина *LCA* алата обезбеђује општу базу података и неке са грађевински оријентисаним подацима. Ови подаци се морају проверити због њихове тачности и релевантности. Узимајући у обзир висок степен варијабилности података, у многим случајевима програмери треба да израчунају интервал вредности или да спроведу неку другу анализу. Упоређивање *LCA* студија за исту зграду показује да несигурности које се односе на *LCA* податке, могу бити значајне и узети се у обзир приликом извођења компаративних *LCA*. Иако је општа методологија *LCA* добро дефинисана, њена примена у грађевинској индустрији и даље трпи недостатке. То подразумева да стварање потпуне анализе животног циклуса зграде није тако једноставан процес.

3.5 Приступи анализе животног циклуса зграда

Постоје два концептуално различита приступа у анализи животног циклуса и то су *process-based LCA* приступ и *economic input – output* анализа базирана на *LCA (EIO-LCA)*. Главна разлика између ова два приступа је у фокусној групи. Први принцип се фокусира на индивидуалне фазе које се примењују да би настао производ или услуга, а други принцип користи макро економске оквири који укључују све монетарне трошкове који су настали у земљи због производње производа [3].

3.5.1 *Process-based LCA* приступ

Process-based LCA приступ је развијен од стране SETAC. Процедуре које су укључене у ову методологију формулисала је Међународна организација за стандардизацију у серији *ISO 14040* [3, 8].

Ова методологија се спроводи у четири корака:

- 1) циљ, дефиниција, предмет и границе које треба анализирати,
- 2) израчунавање улазних и излазних податка уз помоћ анализе инвентара,
- 3) оцена утицаја и
- 4) интерпретација резултата.

Приликом анализе, подаци се узимају из база компанија и владиних и невладиних база податка. Подаци за оцену утицаја се прикупљају из литература и јавно доступних база.

Анализа еколошких оптерећења производа, процеса или услуге може бити застрашујући задатак. Почетни приступ испуњавању анализе животног циклуса је *LCA* метода заснована на процесу. У *LCA* који се заснива на процесу, стављени су улази (материјали и енергетски ресурси) и излази (емисије и отпад у животну средину) за дати корак у производњи производа. Дакле, за једноставан производ, као што је једнократна папирна чаша за пиће, може се навести папир и лепак за материјале, као и струја или

природни гас за управљање машинама за формирање чаше за улазе, а може се навести и отпадни папирни материјал, отпадни лепак и чаше ниског квалитета које постају отпад за излазне производе.

Међутим, за ширу перспективу животног циклуса, овај исти задатак мора се обављати током читавог животног циклуса материјала за чашу и употребе чаше. Дакле, треба идентификовати улазе, као што су целулоза, вода и боје, да би се створио папир, дрвеће и машине за производњу пулпе и шумарске праксе за узгој и бербу дрвећа. Слично томе, потребно је укључити улазе и излазе за паковање чаше за отпрему у продавницу, путовање у продавницу ради куповине чаша и то као резултат бацања чаше у смеће и евентуалног одлагања на депонију или спаљивање. Чак и за врло једноставан производ, овај *LCA* метод заснован на процесу може се брзо увити у огроман број улаза и излаза које треба укључити.

Два главна проблема се јављају код *LCA* метода заснованих на процесима. Један је дефинисање границе анализе. Почетни корак *LCA* заснованог на процесу је дефинисање шта ће бити укључено у анализу, а шта ће бити искључено и занемарено. За пример папирне чаше, неко би могао да одлучи искључивање утицаја на израду челика и затим производње опреме за обраду која израђује чаше. Утврђивањем границе ограничава се опсег пројекта, а тиме и време и напор потребни за прикупљање информација о улазима и излазима. Иако је неопходно за стварање *LCA* пројекта којим се може управљати, дефинисање границе анализе аутоматски ограничава резултате и ствара потцењивање стварних утицаја животног циклуса.

Друго главно питање *LCA* метода заснованих на процесу су ефекти кружности. У савременом свету потребно је пуно истих „ствари“ да би се направиле друге „ствари“. Дакле, за израду папирне чаше потребне су челичне машине. Али за израду челичних машина потребне су друге машине и алати израђени од челика. А за израду челика потребне су машине направљене од челика. У ствари, мора се извршити анализа животног циклуса свих материјала и процеса пре него што се може извршити процена животног циклуса било ког материјала или процеса.

Извршење широке, робусне анализе животног циклуса стога захтева многе претпоставке и одлуке које процену животног циклуса чине врло сложеним и дуготрајним подухватом. Овде приступају економски улазно-излазни *LCA* приступи, који помажу у поједностављивању *LCA*.

3.5.2 ЕИО-*LCA* приступ

Ова врста анализе животног циклуса користи економске улазно / излазне табеле са подацима о потрошњи ресурса, емисији штетних гасова и отпаду како би пратила разне економске трансакције, потребе ресурса и емисију која је потребна за одређени производ или услугу. На овај начин се омогућава бележење свих коришћених ресурса и емисија које су директно или индиректно изазване производњом производа [3, 8].

Економска улазно/излазна матрица у Сједињеним Америчким државама, 1997. године, обухватала је 491 сектор и мапирала односе између њих. Подаци о животној средини који

се користе у овој методологији су прикупљени из јавно доступних база података о потрошњи ресурса, емисијама животне средине и отпаду. Подаци за сваки економски сектор се затим комбинују са економским улазно / излазним подацима како би се утврдио утицај на животну средину проузрокован вредношћу долара из одређеног економског сектора.

Економски улазно/излазни модели (*EIO*) представљају математичке трансакције између индустријских сектора. *EIO* модели показују која добра или услуге (или излаз неке индустрије) троше друге индустрије (или се користи као улаз). Као пример може се узети индустријски сектор који производи аутомобиле. Улази у сектор аутомобилске индустрије укључују излазе из индустријских сектора који производе лим, ветробранска стакла од стаклених плоча, гуме, патоснице, као и рачунаре (за пројектовање аутомобила), електричну енергију (за погон објеката), итд. Заузврат, сектор индустрије гума за лим, за ветробранска стакла од стаклених плоча, итд. захтева улазе за своје операције који су излази других сектора, и тако даље. Сваки од ових захтева за робом или услугама између индустријских сектора идентификован је у *EIO* моделу.

EIO модели су обично представљени у матричном облику где сваки ред и свака колона представљају један индустријски сектор, а пресек реда и колоне идентификује економску вредност излаза из сектора редова који се користи као улаз у сектор колоне. У овом облику, *EIO* модели имају две корисне карактеристике. Прво, *EIO* модели показују да ли је излаз индустријског сектора потребан као улаз за исти индустријски сектор (тј. вредност дуж дијагонале матрице није нула). На пример, индустрија за вађење нафте и гаса може да производи нафту и гас за погон сопствених постројења, или индустрија дизајна и производње рачунара производи рачунаре који се користе за дизајнирање следеће генерације рачунара. Друго, користећи неке основне технике линеарне алгебре, *EIO* модели идентификују директне, индиректне и укупне ефекте промена на економију. Директни ефекти су прворазредне трансакције, односно трансакције између једног сектора и сектора који му дају излаз. Индиректни ефекти су другоразредне, трећеразредне, итд. трансакције, односно трансакције међу свим секторима као резултат прворазредних трансакција. Укупни ефекти су збир директних и индиректних ефеката.

Економски улазно/излазни модели користе се за проучавање промена у захтевима или структури економије. На пример, ако се повећа потражња за производњом из сектора електроенергетске индустрије, *EIO* модел може идентификовати који ће индустријски сектори у ланцу снабдевања електроенергетске индустрије, попут рудника угља, истраживања природног гаса или ожичења и каблирања, такође имати пораст потражње и за колико. Временом, *EIO* модели могу идентификовати када су се догодиле промене у економији, јер се производи индустријских сектора смањују и повећавају, попут повећања производње из услужних сектора у већини развијених земаља. *EIO* модели помажу доносиоцима одлука у процени валовитих ефеката економских промена, укључујући драстичне промене. На пример, *EIO* модели коришћени су за моделирање раста у индустријским секторима који производе грађевинске материјале услед раста у индустријским секторима који пружају грађевинске услуге. Подршка расту не може се

пружити само индустрији грађевинских услуга, већ се мора дати и индустријама које производе дрвну грађу и друге производе од дрвета, водоводне инсталације, итд. У супротном индустрија грађевинских услуга неће имати довољан улаз за своје услуге.

Већина нација креира економске улазно/излазне моделе својих економија до различитих степена специфичности и учесталости. Амерички *EIO* модели (референтни рачуни) креирају се сваких пет година и представљају трансакције између око 400 индустријских сектора.

3.5.3 Хибридни *LCA* приступ

Две претходно описане *LCA* технике имају своје предности и мане. *Process-based LCA* приступ омогућава детаљну анализу специфичног процеса у времену и простору. Међутим, субјективност често карактерише дефинисање процеса које треба узети у обзир, одређивање границе и изворе података. Штавише, локални услови и специфичност времена не морају бити представници услова који се налазе у другим проценама. *Process-based LCA* приступ је интензиван, али недостатак доступних података може ограничити тачност студије. Са друге стране, *EIO-LCA* приступ омогућава да се избегне субјективност која се јавља у *process-based LCA* приступу. Мана *EIO-LCA* приступа је недостатак репрезентативности процеса, јер даје просечну оцену за већину процеса производње [3, 8].

Да би обухватио све предности обе методологије, хибридни *LCA* приступ користи свеобухватност *EIO-LCA* приступа када су у питању емисије и *process-based LCA* приступ како би превазишао недостатак тачности *EIO-LCA* приступа због превелике количине података. Преглед постојећих хибридних модела и њихове употребе за приступ процесима изградње представили су *Biles* и сарадници, 2006. године.

Традиционални економски улазно / излазни модел (матрица) који указује на економске трансакције између индустрија може се додати информацијама о емисијама у животну средину. У ствари, ово ствара додатну колону која представља сектор „животне средине“, а вредност у сваком реду представља „излаз“ загађивача из индустријског сектора који је „улаз“ у сектор „животна средина“. Као што се може моделирати како повећана потражња за излазом из једног сектора утиче на производњу других сектора, тако и са додатим моделом може се моделирати како повећана потражња за производом из једног сектора утиче на излаз загађујућих материја у животну средину.

Овај *EIO-LCA* приступ елиминише два главна питања дефинисања граница и ефеката кружности модела заснованих на процесима. Прво, с обзиром да су укључене трансакције и емисије свих индустријских сектора међу свим осталим индустријским секторима, граница је врло широка и инклузивна. Друго, с обзиром да су укључене трансакције самосектора, у анализу су укључени и ефекти кружности.

4. СОФТВЕРИ ЗА АНАЛИЗУ ЖИВОТНОГ ЦИКЛУСА

LCA се примењује у грађевинском сектору још од 1990. године. Постоји велики број *LCA* студија у Европи, северној Америци и Аустралији [9].

Различити софтверски *LCA* алати су развијени у различитим регионима, као што су *GaBi* и *SimaPro* у Европи, а *ATHENA* у Америци и Канади. *LCA* софтвер користи *LCI* базу података за процену утицаја на животну средину. Постоји много *LCI* база података као што су *ATHENA*, *Eco-Invent* и *AusLCI*. *ATHENA* је најпогоднији за употребу у Америчким и Канадским студијама, јер садржи најсвеобухватнију базу података производа и процеса. *Eco-invent* садржи податке о производима и процесима из Швајцарске и Европе, док *AusLCI* податке из Аустралије.

Технологија у грађевинској индустрији има велику стопу промена због високих техничких побољшања, па је квалитет информација од великог значаја за анализу животног циклуса зграде. Старост, регионално порекло и тачност података утичу и на тачност студија. Највећи фокус током последње две деценије у Европи, Америци и Канади био је да се направи специфична *LCI* база података. Касније се иста иницијатива појавила и у Аустралији.

Многи *LCA* софтверски пакети и *LCI* базе података су коришћени у разним студијама. Иако се може применити било који софтвер, у скорије време се показало чешће коришћење *LCI* база података везаних за тај регион. На пример, неколико Аустралијских студија је спроведено коришћењем *SimaPro* софтвера и аустралијске специфичне базе података *AusLCI*. Једна студија у Великој Британији је користила *GaBi* софтвер и регионалну базу података. Такође, и у Северној Америци постоје две студије у којима је коришћен *ATHENA* и регионална база података. Исходи ових студија важе само за њихов регион, и имају ограничену употребљивост у другим студијама других региона. Због тога избор *LCI* база података за *LCA* студију има велики значај.

4.1 Општи захтеви за софтверске алате *LCA*

Анализа животног циклуса (*LCA*) данас је често коришћена метода за анализу потенцијалног утицаја производа, услуга или поступака на животну средину. Развијени су софтверски алати који олакшавају обраду и израчунавање *LCA*. Први кораци су предузети пре око две деценије, са главним фокусом на анализи производних процеса. Временом се *LCA* софтвер примењивао и на друга поља попут управљања отпадом [10].

На тржишту постоји велика разноликост *LCA* софтверских алата. Најважније, а за потенцијалног корисника такође често забрањено, својство софтверског алата је цена. Цена софтверског алата *LCA* може варирати између неколико хиљада евра и бесплатног софтвера. Неки алати нуде шири спектар карактеристика од других. Неки су фокусирани на одређено поље *LCA*, нпр. *LCA* у управљању отпадом, док други покушавају да покрију различита поља примене *LCA*. Такође подаци и квалитет података могу утицати на цену софтверског алата.

У зависности од сврхе за коју је корисник одабрао софтвер, различити *LCA* алати су погоднији за одређене примене. Међутим, бројна својства и карактеристике су од суштинског значаја за било који квалитетни *LCA* софтверски алат, без обзира на врсту корисника и врсту *LCA* за који се користи.

4.2 Корисници *LCA* софтверских алата

Могу се разликовати различите групе корисника *LCA* софтвера. У прву групу спадају научници и истраживачи. Корисници из ове групе често имају искуства са *LCA* и добро познају и разумеју контекст и карактеристике *LCA* методе. Стога они постављају високе захтеве према софтверским алатима *LCA* и потребан им је флексибилан софтверски алат који им омогућава да моделирају „уобичајене“ често моделиране сценарије, као и сценарије који се разликују од стандарда. Такође, алат би требао подржати моделирање сложених процесних ланаца. Достављени подаци морају бити доброг квалитета и адекватни, посебно зато што, за разлику од пословних корисника, научници обично немају своје податке. Требало би бити могуће и створити нове скупове података. Поред тога, научницима је потребна слобода да изврше сопствена побољшања и модификације постојећих података, спецификација и параметара [10].

С друге стране, индустрија користи *LCA* софтвер за побољшање својих еколошких перформанси за оптимизацију процеса и развој производа. Корисници желе софтвер „спреман за употребу“, где су многе спецификације већ унапред подешене на само неколико параметара које треба одредити.

Такође, доносиоци одлука користе *LCA* за упоређивање различитих опција решења, а тиме и софтверске алате *LCA*. Доносиоци одлука углавном желе лако разумљиву презентацију резултата у погледу тога која је опција најбоља.

Програмери *LCA* алата имају за циљ да служе обе групе корисника: научницима и практичним корисницима из индустрије. Веома је скупо развити софтверски алат и стога се може исплатити само када се прода најширој могућој публици.

Софтверски алат не мора да испуни све поменуте захтеве да би био прихватљив одређеној групи корисника.

4.3 Сврха коришћења *LCA* софтверских алата

Процеси у животној средини су често врло сложени и замршени. То отежава моделирање *LCA*. Поред тога, *LCA* често захтева податке. Тако се рачунари и одговарајући софтверски алати користе за подршку кориснику у управљању и уређивању ових количина података. *LCA* софтвер даље помаже у структурисању моделираног сценарија, приказивањем процесних ланаца и представљањем и анализом резултата. *LCA* софтверски алати се могу користити кад год се примењује *LCA* метода [10].

Главни разлог за употребу *LCA* је израчунавање аспеката животне средине и потенцијалног утицаја повезаног са производом (*ISO 14040*). Такође се могу идентификовати и жаришта животне средине (процеси који имају велики утицај на животну

средину). Тако се може развити еколошки прихватљивији производни процес тамо где је најефикаснији. *LCA* се такође може користити за чистији приступ производњи. Може помоћи у побољшању и оптимизацији управљања ресурсима, што доводи до ефикасније употребе материјала и енергије.

LCA се стога користи углавном за упоређивање различитих опција и за одлучивање која је опција најбоља за животну средину. *LCA* и *LCA* софтвер се тако користе као алат за подршку у доношењу одлука.

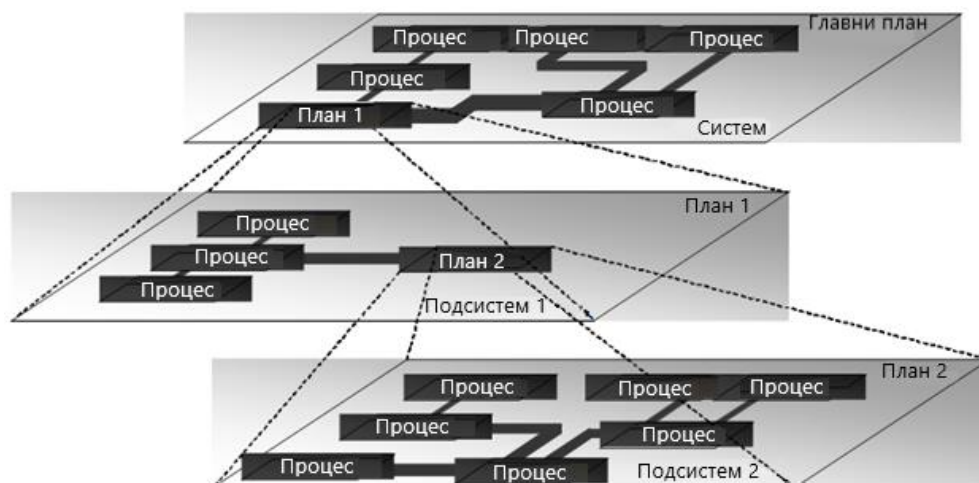
4.4 Примери техничких и методолошких захтева

Људи који желе да користе *LCA* софтверски алат често се суочавају са дилемом који је алат најбољи за њихове сврхе. Доступна су нека упоређивања софтвера која могу помоћи. У наставку је дат преглед неких својстава и карактеристика комерцијалних *LCA* софтверских алата. Истакнуте су и додатне пожељне карактеристике. То се може сматрати општим захтевима које мора испунити добар софтверски алат *LCA* [10].

4.4.1 Структура и приказ процеса

Софтверски алат се обично састоји од базе података и модула за моделирање. Подаци се обрађују и моделирају на интерфејсу [10].

Моделирање се углавном састоји од повезивања узастопних процеса са материјалним токовима. Они граде процесни ланац. Сваки процес представља фазу у производњи и дефинише се његовим улазом и излазом. Излаз из претходног процеса гради улаз за следећи процес. Једноставни процесни ланци могу се моделирати у једном слоју. За руковање сложенијим процесним ланцима потребна је хијерархијска структура, као што је приказано на слици 4.1. Главне фазе процеса, нпр. екстракција, производња и одлагање, моделирани су у програму за репродукцију. Свака од ових фаза може се прецизније навести у свом подслоју. Тако се врло дугачки и сложени процеси такође могу моделирати и приказати на јасан начин.

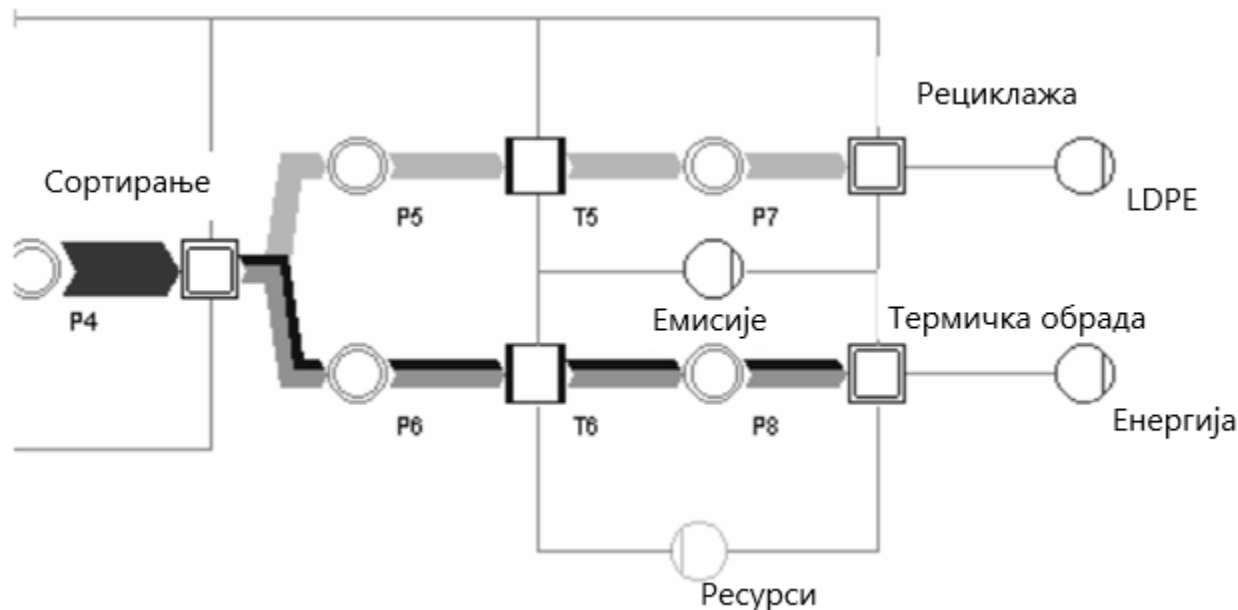


Слика 4.1. Шематски облик хијерархијске структуре [10]

У анализи животног циклуса производа, главни фокус се често ставља на излаз. Главно питање је како се одређена количина производа може произвести са минималним утицајем на животну средину (прорачун усмерен на излаз). Међутим, за процену других поступака, други приступи су прикладнији. На пример, у управљању отпадом поставља се питање како се одређена количина отпада може третирати са минималним утицајем на животну средину, што представља улазно оријентисани приступ. Добри софтверски алати нуде могућност усмеравања прорачуна према било ком процесу у ланцу процеса.

Неки софтверски алати оријентисани на излаз омогућавају само један излаз из процеса. Остали излази (нупроизводи) се тада адресирају као негативни улази, који се не могу пратити у истом ланцу процеса.

Али, корисник ће се понекад сусрести са процесним ланцима са више од једног излаза. Дobar софтвер нуди могућност праћења различитих резултата. Поједностављени пример управљања отпадом дат је на слици 4.2. Процес сортирања има два излаза: *LDPE* филмови, које треба рециклирати (горњи ток), и отпад и друга пластика која је намењена за спаљивање (доњи ток - две боје означавају два различита материјала). Софтвер омогућава кориснику да настави процесни ланац користећи оба излаза.



Слика 4.2. Пример процесног ланца [10]

4.4.2 Транспарентност, флексибилност и једноставност за употребу

Структура софтверског алата делимично је одговорна за његову транспарентност. Модус израчунавања важан је за транспарентну компилацију *LCA*. Корисник би требао бити у могућности да прати сваки резултат како би пронашао грешке. Поступци моделирања треба да буду хронолошки и логични. У овом контексту од виталног је значаја кориснички интерфејс који треба да буде јасно структурисан и разумљив. Моделирање процесног ланца

на графичком интерфејсу врло је транспарентан начин моделирања. Тамо су процеси уређени (нпр. као план, мрежа, склоп) и повезани са материјалним токовима (стрелице) [10].

Да би се побољшала корисност, многи кориснички интерфејси су дизајнирани слично апликацијама *MS Office*. Корисник ће се од почетка бити упознат са бројним функцијама. Ово побољшава радни квалитет софтвера.

Корисник ће често морати да представи своје резултате различитим групама људи (као што су купци или научна заједница). Стога би софтверски алати требали понудити добру презентацију. Дијаграм на слици 4.2 добра је опција за представљање процесног ланца. Хијерархијска структура може помоћи да се резултати јасно прикажу. Такође, требало би бити омогућено и креирање дијаграма. Уједначени распоред за штампане извештаје може побољшати квалитет софтвера. Даље је важна компатибилност са другим апликацијама као што је *MS Office*.

Примена функције документације препоручује се у складу са стандардом *ISO 14040*, који дефинише *LCA*.

Корисник треба да се осећа угодно користећи софтверски алат. Мале функције, као што је могућност промене улазне јединице, функција зумирања за моделирање процесног ланца или могућност приказивања улазно / излазних података у различитим градацијама детаља, могу моделирање учинити кориснијим за корисника.

Програмерима софтвера није лако да се често придржавају карактеристика као што су лакоћа коришћења и флексибилност. *Eriksson* и сарадници, на пример, наводе да њихов софтвер треба посматрати као услугу, а не као рачунарски програм. Даље истичу да континуирано раде на побољшању корисности без губљења флексибилности. Ово важи за многе софтверске алате.

Важан аспект у контексту прилагођавања кориснику је време потребно за учење коришћења софтвера. Количина времена коју треба уложити треба да буде одговарајућа у односу на ниво детаља *LCA*.

4.4.3 База података

Податке треба чувати одвојено од модула за моделирање. Требало би да се креирање и управљање подацима врши у некој врсти базе података или библиотеке. Ова база за складиштење мора бити јасно структурисана. За већину корисника је врло погодна структура базе података слична оној у *MS Windows Explorer*-у, где се подаци могу уређивати без рада у модулу за моделирање. Такође, увоз и извоз у друге апликације је лакши [10].

Осим процеса и токова, база података садржи и моделиране процесне ланце. Такође би требало да буде могуће архивирати подслојеве у ланцу процеса, како би се могли поново користити за моделирање других сценарија. Даље, требало би бити могуће архивирати одвојене податке за одређени пројекат, тако да кориснику није потребно да претражује целу базу података када тражи одређени процес.

Подаци у бази података морају бити квалитетни. Требали би бити ажурни и из поузданог извора. Пожељно је више извора како би се ограничила опасност од грешака. Корисник мора јасно да дефинише услове под којима подаци важе, као и регион за који се могу применити (нпр. енергија за различите земље). Може бити корисно укључити индекс квалитета података да би се назначио ниво квалитета података.

Треба омогућити аутоматско ажурирање чим буду доступни нови подаци или подаци бољег квалитета.

Подаци доброг квалитета у документацији треба да садрже следеће информације:

- ✦ оригинални извор података,
- ✦ старост података,
- ✦ састав података (број компанија или друга литература, где се подаци генеришу).

Корисник, посебно научник, често ће користити податке из базе података, као и из сопствених генерисаних скупова података. Процесе, а посебно токове материјала треба пажљиво именовати. Проблеми се јављају ако се за један ток креирају различити уноси. На пример, процес из базе података даје излаз „CO₂“. Тада корисник креира нови процес са излазом „угљен-диоксид“. Резултат је да два различита имена означавају исти ток. Неопходна је карактеристика која дефинише ове токове као еквивалентне. Ово је посебно важно када корисник креира сопствене податке и анализу. Врло једноставан начин комуникације када два имена означавају исти ток јесте дефинисање синонима.

Понекад корисник можда жели повезати процесе у којима се излаз и узастопни улаз разликују. Ово би такође требало да буде могуће. Пример за то је када се на крају поступка добија „разна пластика“, а улаз у следећи процес је „отпад“ (пластика).

4.4.4 Методе прорачуна, анализе несигурности и варијабилности

Софтверски алати нуде различите опције за дефинисање пропорције улаза и излаза процеса. Најједноставније је дефинисати биланс масе, нпр. улази су 1 kg A и 2 kg B, а излаз 3 kg C. Међутим, биланси масе су обично недовољни. Системи линеарних једначина већину времена су адекватан начин моделирања процеса. Неки алати такође нуде скрипте, омогућавајући кориснику да израчуна нелинеарне системе попут итерација [10].

До сада софтверски алати LCA обично нису узимали у обзир факторе неизвесности и променљивости. То се углавном односи на несигурност параметара (нпр. нетачност мерења емисије или података нормализације), као и на варијабилност између извора (нпр. различите емисије упоредивих процеса) и објеката.

Спектар алата за решавање ових потенцијалних дисторзија креће се од једноставних варијација параметара и анализа осетљивости до софистицираних метода, као што су нејасни логички прорачуни, Bayesian статистика или пробабилистичке симулације.

Конкретно, симулације засноване на методама статистичког моделирања изгледају као обећавајућа техника за операционализацију несигурности. Два приступа, симулације *Monte Carlo* и *Latin Hypercube*, тренутно су примењена у софтверским алатима *LCA*.

Да би се извршила *Monte Carlo* симулација, мора се навести расподела несигурности (обично су доступне нормалне или правоугаоне) сваког параметра. Сви параметри се разликују у границама задате случајне расподеле. Насумично одабране вредности убацују се у излазну једначину. Након поновљених прорачуна, излаз се представља предвиђеном расподелом сваког излазног параметра. Симулација *Latin Hypercube* делује на сличан начин. Главна разлика је у томе што се расподела несигурности параметра сегментира у одређеним интервалима који се не преклапају са једнаком вероватноћом. Ова чињеница доводи до генерално прецизнијих случајних узорака од *Monte Carlo* симулације.

У пракси *LCA* примена ових метода корисна је за процену утицаја несигурности параметра на несигурност резултата модела. Најважнија последица таквих анализа је идентификација параметара који узрокују велико ширење резултата модела. Ово може помоћи у повећању тачности целокупног модела.

4.4.5 Методолошка својства

У случају управљања отпадом, *LCA* обично доводи до упоређивања различитих могућности третмана за токове отпада са референтним сценаријем (нпр. одлагање на депоније) који пружа функционалну еквивалентност. Ова еквиваленција се може постићи давањем бодова изван система или проширивањем сваког система да би се постигле исте користи. За удобну употребу софтверског алата *LCA* потребно је обезбедити обе методе („кредитни метод“ и „корпа користи“). Нарочито сложени сценарији не могу се заиста решити методом „корпе користи“. Ако само „кредити“ могу пружени инвертирањем постојећих примарних производних процеса, процена неће бити удобна, јер су резултати приказани у улазној табели и обрнуто. У добром софтверу, „кредити“ се аутоматски одузимају од резултата [10].

На међународном нивоу успостављене су две методе оцене утицаја које се најчешће користе у процени животног циклуса - оперативни водич за *ISO* стандарде (метода *CML* 2001 и Еко-индикатор 99). Ређе коришћене методе, посебно на немачком језичком подручју, укључују швајцарске еко-факторе 1997. и немачку савезну агенцију за животну средину (*UBA*). Софтвер би требало да обезбеди најмање обе међународно коришћене методе, јер следе различите опште приступе: методе оријентисане на проблеме (*CML*) и методе оријентисане на штету (Еко-индикатор).

Нарочито, када се за процену утицаја користи метода *CML*, софтвер треба да пружи још једну помоћ за интерпретацију резултата. Пондерисање резултата према њиховој релативној важности често је неопходно за тумача резултата. Једна од могућности за агрегацију резултата је нормализација, где је могуће израчунавање величине резултата индикатора у односу на референтне информације. Софтвер треба да пружа различите параметре нормализације.

Генерално треба дати другачији квалитет резултата, нпр. детаљни попис, различите резултате процене, сакупљене вредности различитих категорија утицаја или сажимање само једног параметра да би се добило рангирање опција.

4.4.6 Сервис и подршка

Услуга и подршка су врло важни аспекти *LCA* софтвера и не би их требало потцењивати. Софтверу је потребно континуирано одржавање [10].

Бази података је потребна велика пажња како би била ажурирана. Софтвер такође треба континуирано побољшавати како би се елиминисали кварови и побољшала једноставност за употребу и софтверска ергономија.

Треба обезбедити телефон за е-пошту како би се осигурало да корисник добије квалификовану помоћ за техничке и методолошке проблеме. Детаљан приручник је од суштинског значаја. Многи добављачи софтвера *LCA* нуде посебне сесије обуке за представљање софтвера новом кориснику. Демонстрационе верзије и водичи за демонстрацију функционалности и карактеристика веома су корисни у пружању брзог прегледа својстава софтверског алата. Такве демо верзије треба да буду доступне бесплатно како би демонстрирале предности софтверског алата потенцијалним новим корисницима.

Још један важан аспект услуге је добијање релевантних информација о софтверу. Овај аспект треба узети у обзир када постоје најмање две различите врсте корисника. С једне стране је новопридошли корисник *LCA* коме требају неке опште информације о *LCA* и предностима одређеног софтвера. Ове информације се обично могу наћи на почетној страници софтвера. С друге стране, ту је професионални корисник *LCA* и потребне су му детаљније информације о различитим карактеристикама које софтвер пружа и претпоставкама укљученим у базу података или методолошким решењима, као што су методе процене и одакле је база података. Нажалост, недостаје информација у овој области. Те информације се обично виде тек након куповине софтвера. На интернету су потребне детаљније информације за *LCA* софтвер.

4.4.7 Остале карактеристике

Као што је већ поменуто, многи софтверски алати *LCA* нуде додатне функције. Једна група њих фокусира се на анализу података. Један од примера је анализа осетљивости, коју треба применити у сваком добром софтверском производу. Карактеристика упоређивања различитих сценарија такође се може назвати стандардном карактеристиком [10].

Разматрање трошкова је такође важно. Иако постоје велике методолошке разлике између анализе трошкова животног циклуса (*LCC*) и *LCA*, оне могу бити чврсто, логично и практично повезане. Неки софтверски алати такође узимају у обзир временске аспекте и друштвене параметре као што је радно време.

5. ПРИМЕРИ ПРИМЕНЕ LCA ЗГРАДА

5.1 Студије енергије и материјала зграда

Buchanan и *Honey* истраживали су количину енергије потребне за изградњу зграда и резултујуће емисије угљен-диоксида у атмосферу из компонената фосилних горива те енергије. Потребне за енергијом и емисије угљен-диоксида упоређиване су за типичне комерцијалне, индустријске и стамбене зграде користећи пример Новог Зеланда. Скромна промена од бетона и челика до више дрвене конструкције довела је до значајног смањења енергетских потреба и емисије угљен-диоксида, али одрживост такве промене имала је значајне импликације на шуме [11].

Cole је проценио утицаје различитих алтернативних конструкционих материјала. Студија је испитивала енергију и емисије стаклене баште повезане са изградњом у области избора алтернативних структурних склопова од дрвета, челика и бетона. Циљ је био утврдити релативни удео који представља процес градње у поређењу са укупном почетном емисијом енергије и ефекта стаклене баште и да ли постоје значајне разлике између алтернативних конструкционих материјала [12].

У скорије време, неке студије су почеле да заузимају приступ целог животног циклуса, али још увек у облику поређења за стамбене зграде, не узимајући у обзир све могуће утицаје на животну средину. *Adalberth* је истраживао употребу енергије и утицај на животну средину седам стамбених зграда изграђених 1990-их у Шведској током њиховог животног циклуса. Резултати су показали да за стамбене зграде 70-90% укупног утицаја на животну средину настаје током фазе коришћења, док производња грађевинских и инсталационих материјала чини 10-20% од укупног утицаја [13].

Многе студије о утицају зграда на животну средину описују проблем у релативно широком смислу дајући квалитативне, а понекад и опсежне описе. На пример, једна студија је навела да фаза употребе чини највећи део утицаја зграда на животну средину [14]. Друга студија даје опис еколошких проблема станова, напомињући да би се анализе требало усредсредити првенствено на компоненте које представљају велике количине грађевинског материјала као што су темељ, подови и зидови, док неке друге материјале треба занемарити без обзира на количину, као што је, на пример, олово. У овој студији, утицај потрошње воде на животну средину сматра се занемарљивим у односу на утицај грађевинских материјала и потрошње енергије [15].

У литератури је представљено неколико метода и алата за анализу утицаја на животну средину у вези са зградама и изградњом. Поред тога, неколико других генеричких метода процене утицаја на животну средину примењено је у грађевинском сектору. То укључује, на пример, процену утицаја на животну средину (*Environmental impact assessment - EIA*), примарну енергетску анализу и методу уноса материјала по услузи (*Material input per service – MIPS*) [16, 17].

О ограничењима *LCA* у зградама се такође говорило у неким студијама. *Reijnders* истиче да се због обима и животног века зграда и потребне резолуције података тренутно могу решавати само материјални и оперативни утицаји, док су теме попут квалитета ваздуха у затвореном, проблема на градилишту и инфраструктуре изван опсег типичног *LCA* [18].

5.2 *LCA* студије са неколико категорија утицаја

Неколико студија анализе животног циклуса представило је податке о целом животном циклусу зграде, али користи само један или два индикатора. То су често примарна енергија, а понекад и емисија CO_2 . Сврха је била приступ утицајима зграда на животну средину. *Thormark* је прикупила податке из неколико студија. Закључила је да употреба енергије отприлике чини 85% примарне потрошње енергије нових општих зграда са животним циклусом од 50 година. Међутим, у другој студији она такође истиче да се примери могу наћи у случају зграда са „ниском енергијом“, где је утицај грађевинског материјала много значајнији фактор, еквивалентан утицају половине примарне употребе енергије у зградама [19, 20].

Неке претходне студије у *LCA* зграде фокусирали су се на одређивање примарне потрошње енергије за уграђену енергију материјала без обзира на њихову примену. Други су испитивали везу између уграђене енергије за грађевинске материјале и оперативне енергије током животног циклуса концентришући се на емисију CO_2 као главни стакленички гас, али не узимајући у обзир друге утицаје на животну средину [21, 22, 23].

Treloar и сарадници користили су хибридни улазно – излазни модел за процену примарне потрошње енергије и релативног значаја фаза животног циклуса комерцијалних зграда. Студија је открила да је примарна енергија 20 до 50 пута већа од годишње оперативне енергије већине аустралијских комерцијалних зграда. Међутим, поређење примарне енергије са оперативном енергијом може бити погрешно, јер је количина оперативне енергије увек мања од стварне примарне енергије потребне за производњу ове оперативне енергије [24].

Cole и *Kernan* проценили су утицаје примарне и оперативне енергије у пословној згради. Студија је испитивала укупну потрошњу енергије животног циклуса у 4620 m^2 ($50\,000 \text{ ft}^2$) троспратној, генеричкој пословној згради за алтернативне системе од дрвета, челика и бетона. Израђене су детаљне анализе почетне примарне енергије, поновљене примарне енергије повезане са одржавањем и поправком и оперативне енергије. На основу резултата, утврђено је да оперативна енергија представља највећу компоненту употребе енергије током животног циклуса. Такође је грађевинска структура назначена као још једна значајна компонента примарне енергије [25].

5.3 *LCA* студије грађевинских компонената и система

Неке *LCA* студије су у својим анализама користиле шири сет показатеља утицаја на животну средину. Оне су се у својим прорачунима концентрисале на ограничени број фаза животног циклуса или компонената зграде. *Junnila* и *Saari* проучавали су инвентар животног циклуса и обавештења за процену потрошње примарне енергије и емисије CO_2 ,

CO, NO_x, SO₂, VOC и честица неких специфичних грађевинских компонената које олакшавају укључивање приземне плоче, носивих зидова и плоча, спољних зидова, кровова и прозора. Закључили су да у троспратној стамбеној згради једна од најлакших група елемената, прозори, узрокују највеће емисије у животну средину током 40 година употребе, од којих је већина узрокована повећаном потрошњом енергије услед губитака топлоте [26].

Trusty и *Meil* су проценили утицај два алтернативна дизајна за пословну зграду на животну средину, укључујући структурне елементе и елементе омотача, и упоредили их са годишњом оперативном енергијом HVAC. Закључили су да у мање енергетски ефикасним опцијама дизајнирања иницира примарна енергија конструкција, као и да је енергија ван омотача приближно једнака потрошњи примарне енергије током четири године рада HVAC система. Такође су известили да је у енергетски ефикаснијим зградама енергија позвана на конструкције и омотач, која је у оба случаја била приближно иста (4% више у енергетски ефикасном дизајну), еквивалентна потрошњи примарне енергије за приближно 10 године рада [27].

5.4 Детаљне LCA студије

Неке врсте LCA студија обухватале су све фазе животног циклуса зграде и користиле шири сет показатеља утицаја на животну средину. Већина њих су биле студије стамбених зграда. Један део студија је указао да је производња материјала такође поменута као значајна последица, посебно у погледу потенцијала смога и отровних ослобађања [26, 28].

Студије о животној средини пословних зграда мање су објављене од стамбених. *Scheuer* и сарадници спровели су свеобухватну LCA студију за образовну зграду у кампусу Универзитета у Мичигену. Студија је претпостављала животи циклус зграде од 75 година. Студија је закључила да фаза рада, топлотна и електрична енергија чине главни део утицаја у свим процењеним категоријама. Извештава се да се 93% глобалног загревања, 83% оштећења озонског омотача и 90% закисељавања и 90% хранљивих састојака догодило у фази рада. У овој студији производња и пласман материјала постали су други највећи фактор који утиче на животи циклус. Чинили су 3-14% вредности утицаја. Иако је ово LCA истраживање опсежно, недостајале су две претпоставке које би могле нагласити значај оперативне енергије. У стварној студији је израчунато да погонску енергију производи углавном комбиновано грејање и електрана. Али у стварном израчунавању LCA, модел производње енергије је поједностављен раздвајањем производње електричне енергије и топлоте. Друга претпоставка односи се на гориво које се користи у производњи енергије, а то је природни гас, док се енергија заправо производи заједно са гасом, уљем и угљем. Ове две претпоставке потенцијално су повећале утицај оперативне енергије, посебно у категоријама GWP и ацидификације [29].

Junnila и сарадници спровели су две детаљне LCA студије квантификујући значајне еколошке аспекте нове пословне зграде високе класе у Европи и Сједињеним Државама током 50 година радног века. Извршена је свеобухватна анализа животног циклуса животне средине, укључујући процену квалитета података, како би се пружиле детаљне информације за утврђивање узрочне везе између различитих елемената животног циклуса

и потенцијалних утицаја на животну средину. Резултати показују да је већина утицаја повезана са употребом електричне енергије и производњом грађевинског материјала. Конкретно, електрична енергија се користи за осветљење, HVAC системе, спровођење топлоте кроз конструкције за производњу и одржавање челика, производњу бетона и боје, употребу воде и стварање отпадних вода и управљање канцеларијским отпадом. Утврђено је да изградња и рушење имају релативно безначајне утицаје [30, 31].

5.5 LCA вишеструких студија случаја

Неке LCA студије су користиле више студија случаја зграда за анализу утицаја на животну средину. Ове студије су анализирале резултате на нивоу грубе фазе животног циклуса. *Adalberth* и сарадници упоређивали су утицај на животну средину четири вишестамбене куће у Шведској током 50 година радног века применом LCA методе. Овде су укључени следећи утицаји на животну средину, отворени потенцијал загревања, ацидификација, еутрофикација, фотохемијски потенцијали стварања озона и токсичност за људе. Тим је известио да фаза коришћења која се бави животним циклусом највише доприноси категоријама највише утицаја, од 70 до 90%. Производња грађевинског материјала допринела је другом месту са 10 до 20%. Студија је била кратка у разматрању неких грађевинских материјала који би могли да имају значајан потенцијал оштећења озонског омотача, попут боја које су изостављене из инвентара. Поред тога, исход је показао да је најшири опсег варијација између студија случаја четири зграде, пронађен у фази коришћења, једнак 40% укупног утицаја животног циклуса [32].

Suzuki и *Oka* извели су економски улазно - излазни LCA и упоредили га са примарном енергијом и емисијом CO₂ 10 пословних зграда са 40 година радног века у Јапану. Студија је известила да је употреба енергије у фази коришћења допринела већини утицаја у свих 10 случајева са просечним процентом од 80%. На другом месту по утицају је изградња, укључујући материјале, са 15 до 18%. Чини се да су разлике у зградама највеће у коришћењу електричне енергије, око 45% утицаја животног циклуса. Друга највећа варијација међу случајевима забележена је код завршних елемената, 10% од утицаја на животни циклус зграда. Структурни систем имао је варијацију од само 2% међу случајевима које су проучавали. Међутим, у студији није било разматрања других утицаја на животну средину [22].

5.6 Студије са анализом осетљивости

Анализа осетљивости обично се користи за проверу или значаја промене кључних параметара који доприносе укупном LCA или кључних претпоставки које управљају методологијом самог LCA процеса. Иако је анализа осетљивости препоручени део LCA студије, она још увек није стандардна пракса [33]. Осетљивост је процењена у неким грађевинским студијама LCA. На пример, *Adalberth* и сарадници проценили су ефекте три алтернативна сценарија за вишепородичну зграду у Шведској. Студија је открила да би коришћени енергетски микс могао да има значајан утицај на резултат (25-45%), али само мањи утицај на материјалне податке и количине оперативне енергије, од око 15% [32].

У другој студији, *Peuportier* је извршио анализу осетљивости за породичну кућу у Француској. Тестирао је 4 алтернативна сценарија и открио да врста грејне енергије има велики утицај на резултат (око 40%), а употребљени алтернативни грађевински материјали имају мањи утицај на резултате (18%) [34].

5.7 LCA студије стамбених зграда

Adalberth и сарадници спроводили су *LCA* на 4 вишестамбене зграде изграђене током 1996. године у Шведској. За функционалну јединицу узета је корисна површина пода (m^2), док је за животни век зграде процењено 50 година. Главни циљ је био проучавање различитих фаза ове 4 зграде, утврђивање која фаза има највећи утицај на животну средину и да ли би дошло до неких промена које би утицале на животну средину приликом одабира другачијег материјала. Утицај на животну средину је одређен помоћу *LCA* алата који је осмишљен на Данском грађевинском истраживачком институту. У овој студији, утицаји су се односили на потенцијал глобалног загревања (*global warming potential – GWP*), (*acidification potential – AP*), (*eutrophication potential – EP*) и токсичност људи. Разматране су све фазе животног циклуса зграде. Процењена вредност потрошње енергије током 50 година је 6400 kWh/m^2 . Само фаза изградње износила је око 70 – 90 % од укупног утицаја на животну средину, тако да је веома битно одабрати такве конструкције и инсталације које имају мањи утицај [35].

Arpke и *Hutzlercy* користили технике *LCA* и *LCC* (*life-cycle cost analysis* - анализа трошкова животног циклуса) за проучавање коришћења воде у вишеспратном становању. Одабране локације су у САД-у, и то *Boulder (Colombia)*, *Houghton (Michigan)*, *Ames (Iowa)* и *Newark (New Jersey)*. У овој анализи коришћен је *Building for Environment and Economic sustainability (BEES) Version 3.0* алат јер је применљив и за *LCA* и *LCC*. Овај алат је коришћен за проучавање 25-то годишњег животног циклуса за водоводне инсталације и урађаје за водоснабдевање за 4 различита висшефункционална објекта - стан, студенски дом, мотел и пословну зграду. Резултати су показали да треба користити ефикасније уређаје пре него конвенционалне, и коришћење природног гаса, а не електричне енергије за загревање воде би се уштедело \$80.000.

Norman и сарадници упоређивали су насељене и мање насељене зграде и њихову потрошњу енергије и емисију штетних гасова. Рад илуструје да је избор функционалне јединице веома релевантан за потпуно разумевање ефеката урбане густине. Зато су одабране две функционалне јединице, стамбени простор (m^2) и број становника у домаћинству (по глави становника). Оба услова су изабрана за Торонто, Канада. *EIO-LCA* је коришћен за процени утицаје производње материјала потребних за изградњу инфраструктуре на животну средину. Ово је алат који су развили на *Carnegie Mellon* универзитету. За грађевинске операције коришћени су јавни подаци, а за јавни и приватни транспорт су коришћени специфични подаци. Процена потрошње енергије и емисија штетних гасова за различите моделе транспорта узета је из претходних Кенедијевих извештаја. Ова студија је показала да енергија и емисија штетних гасова који произилазе из производње материјала за зграде мање густине насељености већа чак и до 1,5% у односу на зграде веће густине насељености на основу број становника у домаћинству. Када се за

функционалну јединицу узме стамбени простор онда зграде веће густине насељености имају 1,25% већу потрошњу енергије и емисију штетних гасова. *EIO-LCA* анализа је показала да грађевински материјали који доприносе потрошњи енергије и емисији за обе густине насељености су опека, прозори, суви зид и структурни бетон који се користе у зградама. Комбинација ова 4 материјала имала је 60 – 70% утицаја на укупну енергију и емисију за оба типа зграда.

Guggemos и *Horvath* су упоређивали зграде изграђене од челика и бетона уз помоћ *LCA*. Посматране су две петоспратне зграде укупне површине 4.400 m². Зграде се налазе у *Midwestern*-у (САД) и очекује се да ће се користити наредних 50 година. У овој студији су коришћене *LCA* и *EIO-LCA* методе да се процени животни ефекат сваке фазе животног циклуса. Резултати су показали да бетонска конструкција зграде захтева већи потрошњу енергије и емисију штетних гасова током дужег временског периода.

Blengini је применио *LCA* на зграду која је 2004. године срушена контролисаним минирањем. Усвојена функционална јединица била је m² нето површине у периоду од једне године. Ова стамбена зграда се налази у Торину у Италији. У овој студији проучавана је завршна фаза и потенцијал материјала за рециклажу. Оцена утицаја животног циклуса (*Life cycle impact assessment – LCIA*) у почетку је била фокусирана на категоризацију, а разматрано је 6 индикатора енергије *GER* (*gross energy requirement*), *GWP*, *ODP* (*ozone depletion potential*), *AP*, *EP* and *POCP* (*photochemical ozone creation potential*). *SimaPro 6.0* и *Boustead Model 5* су коришћени као помоћи алати како би имплементирали *LCA* и добили резултате. Резултати су показали да рециклирани грађевински материјал није само економски исплатив и профитабилан, већ је и одржив са енергетске и еколошке тачке гледишта.

Из ових примера се може закључити да оперативна фаза има 80 – 85% утицаја на животну околину. Због тога би будући напори требали бити усмерени на њено смањивање, чак и по цену повећања утицаја неке друге фазе која сада и не утиче толико.

5.8 *LCA* студије нестамбених зграда

Junnila и *Horvath* су проучавали значајне еколошке аспекте новог пословног објекта са животним веком од 50 година. У овој студији функционална јединица је 1 kWh/m² по години, а локација студије је у јужној Финској, северна Европа. Анализа животног циклуса која је спроведена имала је три фазе, анализу инвентара за квантификацију емисије и отпада, оцену потенцијалних утицаја емисије и отпада на животну средину и интерпретацију најзначајније дефинисаних аспеката. У овој студији живот зграде се састоји од 5 фаза. Резултати показују да највећи утицај имају коришћење струје и производња грађевинског материјала. Струја која је коришћена за осветљење, *HVAC* системи, топлотна проводљивост кроз конструкцију, производња челика, бетона и боја и канцеларијски отпад, дефинисани су као најзначајнији аспекти. Емисија штетних гасова је процењена на 48.000 t CO₂ eq/m² у току 50 година [35].

Richman и сарадници су спровели *LCA* за хладњаче у Северној Америци. Као функционалну јединицу користили су *RSI* вредност (*insulating value* - вредност изолације), пошто је губитак енергије пропорцијалан $1/RSI$. Студија је спроведена у Америчким градовима, *Tamp, Florida* и *Milwaukee, Wisconsin*. Ова студија је процењивала потребу за изолацијом крова у модерним хладњачама. Разматрана је и са еколошког и економског аспекта. Резултати су показали потребу за изолацијом у зависности од климатских услова. У хладнијим пределима је препоручена изолација *RSI-8.45* до *RSI-9.86*, док је у топлијим *RSI-9.86* до *RSI-11.27*.

Scheuer и сарадници су извршили *LCA* анализу на шестоспратној згради површине 7.300 m^2 , чији је животни век процењен на 75 година. Зграда се налази у кампусу *Michigan* универзитета, *Ann Arbor, Michigan*, Америка. Анализа је спроведена у складу са *EPA (Environmental Protection Agency)*, *SETAC* и *ISO* стандардима. Већина података је узета из *DEAMTM* базе података, док је остале податке о производњи Шведска агенција за животну средину, шуме и земљиште узела из две базе, софтвера *SimaPro* и из извештаја *Franklin Associates*. Потрошња енергије, *GWP*, *ODP*, *NP (nitrification potential)*, *AP* и генерисање чврстог отпада су биле категорије утицаја које су се разматрале. Обављено је компјутерско моделирање како би се утврдила примарна потрошња енергије за грејање, хлађење, вентилацију, освету и потрошњу воде. Израчунати интезитет енергије током животног циклуса зграде износи 316 GJ/m^2 . *HVAC* и електрична енергија чине 94,4% потрошње енергије у животном циклусу. Анализа је спроведена за три фазе. Резултати су показали да оптимизација фазе операције треба да буде примарна, јер она обухвата 83% укупних утицаја на животну околину.

Kofoworola и *Gheewala* су спровели анализу животног циклуса за пословну зграду на Тајланду. Зграда има 38 спратова, налази се у пословној зони Бангкока и животни век је процењен на 50 година. За функционалну јединицу се сматра $60,000\text{ m}^2$ бруто површине објекта. Ова студија је покрила све фазе животног века зграде. Подаци о инвентарима су стимулирани у *LCA* моделу и рачунати су утицаји за сваку фазу. Три главне категорије утицаја су *GWP*, *AP* и *photo-oxidant* потенцијал. Коришћене су две методологије, и *LCA* и *EIO-LCA*. Открили су да челик и бетон имају највећи утицај на животну средину што се тиче материјала и да је потрошња енергије износила 52% од укупних утицаја.

Arena и *Rosa* разматрали су зграду школе и спровеле *LCA* да упореде различите грађевинске технологије које су примењене на сеоским школама како би се добио топлотни комфор уз минималну потрошњу фосилних горива. Школа се налази у *Lavalle*, малом граду у северној Мендонзи, Аргентина. Животни век зграде је процењен на 50 година. Коришћена је поједностављена технологија и узете су у обзир само две фазе, грађевинска и оперативна фаза. *GWP*, *EP*, *ARP (Acid Rain Potential)*, *PSP (Photo-Smog Potential)*, потрошња ресурса и *TP (Toxicity Potential)* су разматрани као утицаји на животну средину. За све прорачуне коришћена је *SBID (Society of British Interior Design)* база података. Израчуната је годишња потрошња енергије, и приказано да уштеда током фазе коришћења износи 5307.5 MJ годишње. У овој студији је приказано да су еколошки аспекти побољшани применом конзервативних технологија.

5.9 LCA студије грађевинских конструкција

Штавише, поред примене *LCA* на зграде, *LCA* се користи и у пројектима нискоградње. На пример, у погледу изградње аутопутева, *Birgisdóttir* и сарадници су упоредили два сценарија са природним наспрам различитих врста материјала. Метода *LCA* процењена је у *ROAD-RES* алату, који се може користити за *LCA* у изградњи путева и одлагању отпада. Анализирани су утицаји на животну средину попут глобалног загревања, ацидификације и екотоксичности. Анализа је показала да је разлика између сценарија била маргинална у погледу утицаја на животну средину и потрошње ресурса. Већина утицаја на животну средину односила се на емисије сагоревањем фосилних горива. Потенцијално загађење подземних вода услед испирања соли показало се важним потенцијалним трошењем ресурса, пре свега услед сољења путева [35].

Mroueh и сарадници спровели су сличну студију ових утицаја. Обе истраге показују да примена *LCA* спроводи стратегије за смањивање оптерећења животне средине, потрошње ресурса и примењене стратегије попут рециклирања и поновне употребе грађевинских материјала. Резултати студија случаја указују да производња и транспорт материјала који се користе у конструкцијама путева стварају најзначајнија еколошка оптерећења. Производња битумена и цемента, дробљење материјала и транспорт материјала су енергетски најтраженије фазе животног циклуса. Велики део емисија у атмосферу потиче од производње енергије. У стручној анализи, потрошња природних материјала и понашање при испирању такође су од великог значаја.

Унутар ове категорије могу се уврстити и тротоари. Иако сами по себи нису део зграде, тротоари су важан део урбаних подручја, где су зграде обухваћене. *Santero* и сарадници су објавили врло потпун преглед *LCA* тротоара.

Према *Santero*-у и сарадницима, утицаји тротоара на животну средину најбоље се карактеришу применом приступа процене животног циклуса (*LCA*). Када је *LCA* повезан са анализом трошкова животног циклуса (*LCCA*), доносиоци одлука могу боље утврдити укупне ефекте предложеног пројекта или политике. *LCCA* је већ широко прихваћен у транспортним одељењима, а већина америчких држава запошљава бар неки облик *LCCA*. Додавањем *LCA* у њихов сет алата повећаће се способност доносилаца одлука да постигну економске и еколошке циљеве.

Vidal и сарадници су извели свеобухватан *LCA* асфалтних тротоара, укључујући асфалт са врућом мешавином, асфалт са топлим мешавином са додатком синтетичких зеолита и асфалтне мешавине са обновљеним асфалтним тротоаром. Процењени су утицаји на животну средину повезани са потрошњом енергије, емисијама у ваздух и другим утицајима на животну средину који произилазе из свих осталих корака процеса. Сви утицаји на крајње тачке, као и климатске промене, исцрпљивање фосила и укупна кумулативна потреба за енергијом смањени су за 13-14% додавањем 15% обновљеног асфалтног тротоара. Кључна предност асфалта са топлим мешавином је потенцијално већа употреба обновљеног асфалтног тротоара. Према томе, смањење утицаја постигнуто додавањем великих

количина обновљеног асфалтног тротоара на асфалт са топлом мешавином могло би претворити ове асфалтне мешавине у добру алтернативу врућом мешавином асфалта у еколошком смислу.

6. ЗАКЉУЧАК

Сврха овог рада била је приказивање могућности примене анализе животног циклуса зграда (*LCA* зграда). *LCA* методологија јесте анализа и оцењивање животног циклуса производа или услуге. То је метода која квантификује све релевантне емисије и ресурсе који се користе, као и утицаје на животну средину и здравље људи повезаних са производима, процесима, робама и услугама. *LCA* прорачунава читав животни циклус, од екстракције сировина, кроз производњу, коришћење, одлагање и крајњи сценарио управљања отпадом.

LCA се примењује и у грађевинском сектору где је пресудан део процене еколошке одрживости зграда. Приступ анализе животног циклуса помера фокус из фактора који су везани за завршену зграду, и укључује цео процес изградње. Зграде су локално произведене и једнствене. Осим тога, две зграде изграђене на исти начин могу се развијати другачије током њиховог животног века. Животни циклус зграде се састоји од 6 фаза, фазе снабдевања ресурсима, фазе производње, фазе изградње, фазе коришћења, завршне фаза и фазе рециклаже.

Сврха примене анализе животног циклуса зграде је да се добију резултати утицаја на животну околину. Коришћењем ове анализе могуће је пратити све фазе животног циклуса зграде и тако предузети одговарајуће кораке како би утицај био што мањи. Анализа се састоји из неколико корака. За спровођење *LCA* битно је знати који су жељени правци и које утицаје је потребно проценити. Зато се пре свега је дефинишу циљ и предмет анализе. Како би резултати били што бољи потребно је изабрати добре полазне податке. Њих је могуће преузети из разних развијених софтвера. Трећи корак је оцена утицаја животног циклуса и последњи интерпретација резултата.

Процена утицаја зграде на животну околину је веома комплексан задатак јер је потребно узети у обзир много података и претпоставити много ситуација. Због тога су врло честе студије које су сконцентрисане само на одређене утицаје на животну средину. Примена *LCA* је важна јер се њом може спречити непотребна експлоатација ресурса, претерано коришћење енергије, емисија штетних гасова, односно проблеми са којима се данас суочавамо, као што су ефекат стаклене баште, глобално загревање, оштећење озонског омотача, киселе кише, итд.

7. ЛИТЕРАТУРА

- [1] S. Reiter, *Life Cycle Assessment of Buildings - a review*, University of Liège, Liège, Belgium, 2010.
- [2] S. S. Muthu, *Estimating the overall environmental impact of textile processing: life cycle assessment (LCA) of textile products. Assessing the Environmental Impact of Textiles and the Clothing Supply Chain*, 105–131, 2014, doi:10.1533/9781782421122.105.
- [3] Ashraf F. Ragheb, *Towards environmental profiling for office buildings using life cycle assessment (LCA)*, University of Michigan, 2011.
- [4] M. A. Curran, *Life cycle assessment: principles and practice*, National Risk Management Research Laboratory, Cincinnati, Ohio, 2006.
- [5] L. Ngwepe, C. Aigbavboa, *A theoretical review of building life cycle stages and their related environmental impacts*, University of Johannesburg, Johannesburg, South Africa.
- [6] Интернет страница: https://www.trafikstyrelsen.dk/~media/Dokumenter/09%20Byggeri/Baredygtigt%20byggeri/TB-ST-2016-02-Introduction_LCA_english.pdf, приступљено: у јулу 2020. године
- [7] H. Birgisdóttir, F. N. Rasmussen, *Introduction to LCA of Buildings*, Danish Building Research Institute, 2016.
- [8] Интернет страница: <http://www.eiolca.net/Method/LCAapproaches.html>, приступљено: у јулу 2020. године
- [9] H. Islam, M. Jollands, S. Setunge, *Life cycle assessment and life cycle cost implication of residential buildings - a review*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2014.
- [10] H. Islam, M. Jollands, S. Setunge, *General requirements for LCA software tools*, Institute of Waste Management, BOKU – University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna, Austria.
- [11] Buchanan, A., Honey, B. (1994), *Energy and carbon dioxide implications of building construction*. Energy and Buildings, 20(3), pp. 205-217.
- [12] Cole, R. (1999), *Building environment assessment methods: clarifying intentions*. Building Research & Information, 27 4/5, pp. 230–246.
- [13] Adalberth, K. (2000), *Energy Use and Environmental Impact of new Residential Buildings*, Department of Building Physics, Lund University, Lund, Sweden.
- [14] Finnveden, G. and Palm, V. (2002), *Rethinking producer responsibility*, International Journal of Life Cycle Assessment, Vol. 7, No. 2, pp. 61.

- [15] Klunder, G. (2001), *Environmental impact of Dutch dwellings: Priorities for reduction and benefits of sustainable construction*, In: Maiellaro N. (ed.) *Towards Sustainable Building*. Kluwer, Dordrecht, the Netherlands. pp. 109-134.
- [16] Treloar, G.J., McCoubrie, A., Love P.E.D. and Iyer-Ragina, U. (1999), *Embodied energy analysis of fixtures, fittings and furniture in office buildings*, *Facilities*, Vol. 17, No. 11, pp. 403-409.
- [17] Horvath, A. and Hendrickson, C. (1998), *Steel versus steel-reinforced concrete bridges: Environmental assessment*, *Journal of Infrastructure Systems*, Vol. 4, No. 3, pp. 111-117.
- [18] Reijnders and Roekel (1999), *Comprehensiveness and adequacy of tools for the environmental improvement of buildings*, *Journal of Cleaner Production* 7 (3), pp. 221–225.
- [19] Thormark, C. (2000), *Inclusion of recycling in the assessment of buildings*, In: Sarja A. (ed.), *Proceedings of RILEM/CIB/ISO international symposium of integrated lifecycle design of materials and structures ILCDES*, Helsinki, Finland, May 22-24, 2000, *Proceedings 14. RILEM*, Helsinki, Finland. pp. 179-184.
- [20] Thormark, C. (2002), *A low energy building in a life cycle-its embodied energy, energy need for operation and recycling potential*, *Building and environment*, Vol. 37, No. 4, pp. 429-435.
- [21] Blanchard, S. & Reppe, P. (1998), *Life Cycle Analysis of a Residential Home in Michigan*, Master thesis, School of Natural Resources and Environment, University of Michigan, Ann Arbor, MI.
- [22] Suzuki, M., and Oka, T. (1998), *Estimation of life cycle energy consumption and CO2 emission of office buildings in Japan*, *Energy and Buildings* 28 (1), pp. 33–41.
- [23] Adalberth, K. (1997), *Energy use during the life cycle of single-unit dwellings: examples*, *Building and Environment*, 32 (4), pp. 321–329.
- [24] Treloar, G., Fay R., Ilozor, B. and Love P. (2001a), *Building materials selection: greenhouse strategies for built facilities*, *Facilities*, Vol. 19, No. 3/4. pp. 139 - 150.
- [25] Cole, R., Kernan, P. (1996), *Life cycle energy use in office buildings*, *Building and Environment*, 31(4), pp.307-317.
- [26] Junnila, S. and Saari, A. (1998), *Environmental burdens of a Finnish apartment building by building elements in the context of LCA*, Helsinki University of Technology, Report 167, Espoo, Finland.
- [27] Trusty, W. and Meil, J. (2000), *The environmental implications of building new versus renovating an existing structure*, In: Boonstra, C., Rovers, R. and Pauwels, S. (eds.), *Proceedings of CIB International Conference on Sustainable Building 2000*, October 22-25, Maastricht, The Netherlands, Aeneas, Technical publisher, pp. 104-106.

-
- [28] Ochoa, L., Hendrickson, C. and Matthews H. S. (2002), *Economic input-output life cycle assessment of U.S. residential buildings*, Journal of Infrastructure Systems, Vol. 8, No. 4, pp. 421-428.
- [29] Sheuer, C., Keoleian, G. and Reppe, P. (2003), *Life cycle energy and environmental performance of a new university building: modeling challenges and design implications*, Energy and Building, Vol. 35, pp. 1049-1064.
- [30] Junnila, S., Horvath, A. (2003), *Life cycle environmental effects of an office building*, Journal of Infrastructure Systems 9(4), 157-166.
- [31] Junnila, S., Horvath, A. and Guggemos, A. (2005), *Life cycle assessment of office buildings in Europe and the United States*, Journal of Infrastructure Systems, 12(1), 10-17.
- [32] Adalberth, K., Almgren, A. and Petersen, E. H. (2001), *Life cycle assessment of four multi-family buildings*, International Journal of Low Energy and Sustainable Buildings, Vol. 2. Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden. pp. 1-21.
- [33] Ross, S., Evans, D. and Webber, M. (2002), *How LCA Studies Deal with Uncertainty*, International Journal of Life Cycle Assessment, Vol. 7, No. 1. pp. 47-52.
- [34] Peuportier, B. L. P. (2001), *Life cycle assessment applied to the comparative evaluation of single family houses in the French context*, Energy and Buildings, Vol. 33, No. 5, pp. 443-450.
- [35] L. Cabeza, L. Rincon, V. Vilarino, G. Perez, A. Castell, *Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: a review*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013.