

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Инжењерство заштите животне средине

Ниво студија: Мастер академске студије

Предмет: Анализа животног циклуса

Број индекса: 416/2018

Никола Б. Милутиновић

**Методологије и софтвери који се користе у
анализи животног циклуса**

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, поред укратко описаног општег оквира методе Анализе животног циклуса, да прикаже преглед и опис до сада развијених методологија Анализе животног циклуса према категоријама утицаја на животну средину. Након методологија, представити и софтверске алата који се користе за оцену животног циклуса.

Препоручена литература:

- [1] Karim Ali Ibrahim Menoufi, *Life Cycle Analysis and Life Cycle Impact Assessment methodologies: A state of the art*, Màster en Ciències Aplicades a l'Enginyeria, Universitat de Lleida, Escola Politècnica Superior, 2011.
- [2] Dean M. Menke, Gary A. Davis, Bruce W. Vigon, *Evaluation of Life-Cycle Assessment Tools, Final Report*, The University of Tennessee - Center for Clean Products and Clean Technologies, Battelle - Strategic Environmental Management, 1996.
- [3] ILCD handbook: *General guide for life cycle assessment – detailed guidance, first edition*, Institute for Environment and Sustainability, Joint research centre, European Commission, 2010.

Садржај

1. Увод.....	1
2. Историјат LCA.....	3
3. Сврха употребе LCA	4
3.1. Развој производа	4
3.2. Побољшање производа	4
3.3. Маркетинг.....	5
4. Општи оквир LCA	6
4.1. Дефинисање циља и предмета.....	6
4.2. Анализа инвентара.....	7
4.3. Оцена утицаја.....	7
4.3.1. Дефиниција и класификација категорија утицаја	8
4.3.2. Карактеризација.....	9
4.3.3. Нормализација	9
4.3.4. Агрегација	10
4.4. Интерпретација резултата.....	12
5. Преглед методологија LCIA.....	13
5.1. Методологије приступа средњег нивоа	20
5.1.1. CML	20
5.1.2. EDIP 2003	22
5.1.3. TRACI.....	22
5.2. Методологије приступа крајњег нивоа.....	23
5.2.1. Eco Indicator 99	23
5.2.2. EPS 2000	25
5.2.3. Eco Scarcity method (Eco points)	25
5.2.4. JEPIX	26
5.3. Комбиновани приступ средњем и крајњем нивоу.....	26
5.3.1. RECIPE	26
5.3.2. LIME	28
5.3.3. Impact 2002+.....	30
5.3.4. LUCAS.....	31
5.4. Остале методологије засноване на LCA.....	32
5.4.1. MEEup	32
5.4.2. BEES	32

5.4.3. Ecological footprints	33
5.4.4. USEtox	33
5.4.5. EDP	34
5.4.6. IPCC	34
5.4.7. Cumulative Energy Demand	35
5.4.8. Cumulative Exergy Demand	35
5.4.9. Emergy Analysis	36
5.4.10. Cumulative Exergy Consumption	36
5.4.11. CEENE	36
6. Софтверски алати у LCA.....	37
6.1. Почетна процена	37
6.1.1. Свеобухватна листа софтверских алата LCA	37
6.1.2. Почетни преглед софтвера и литературе	38
6.1.3. Избор детаљне процене	39
6.2. Детаљна процена	40
6.2.1. Критеријуми за детаљну анализу алата	40
6.2.1.1. Рачунарски захтеви и приступ	41
6.2.1.2. Дефинисање система.....	41
6.2.1.3. Подаци и управљање подацима	42
6.2.1.4. Флексибилност	43
6.2.1.5. Прорачуни и поређења.....	43
6.2.1.6. Резултати и учинак.....	44
6.2.2. Поређење одабраних софтверских алата	44
6.3. KCL-ECO	45
6.4. LCAiT.....	46
6.5. PEMS.....	46
6.6. SimaPro	47
6.7. TEAM.....	47
7. Закључак.....	49
8. Литература	50

Резиме

У овом раду анализиране су методологије и софтвери који се користе у Анализи животног циклуса (Life Cycle Analysis - LCA). Анализа животног циклуса је свеобухватна метода за процену утицаја производа или активности на животну средину током читавог животног циклуса. Сврха провођења студија LCA варира од једне примене до друге. Различите примене користе LCA у различите сврхе. Генерално, главни циљ коришћења LCA је смањити утицај производа на животну средину кроз усмеравање процеса доношења одлука ка одрживијим решењима. Најкритичнија фаза у LCA студији је Оцена утицаја животног циклуса (Life Cycle Impact Assessment - LCIA) у којој се резултати Анализе инвентара (Life Cycle Inventory - LCI) разматраних супстанци везаних за проучавање одређеног система трансформишу у разумљиве категорије утицаја које представљају утицај на животну средину. Развијен је одређени број методологија и софтвера LCIA са различитим приступима за решавање модела утицаја емисија на животну средину.

Кључне речи: Анализа животног циклуса, оцена утицаја животног циклуса, методологије, софтвери, животни циклус производа, утицај на животну средину, категорије утицаја.

Abstract

In this paper, the methodology and software used in the Life Cycle Analysis (LCA), were analyzed. Life Cycle Analysis (LCA) is a comprehensive method for assessing the environmental impact of a product or an activity over its entire life cycle. The purpose of conducting LCA studies varies from one application to another. Different applications use LCA for different purposes. In general, the main aim of using LCA is to reduce the environmental impact of products through guiding the decision-making process towards more sustainable solutions. The most critical phase in an LCA study is the Life Cycle Impact Assessment (LCIA) where the Life Cycle Inventory (LCI) results of the considered substances related to the study of a certain system are transformed into understandable impact categories that represent the impact on the environment. Several LCIA methodologies and software have been developed with different approaches towards dealing with modeling the emissions effect on the environment.

Key words: Life Cycle Analysis, Life Cycle Impact Assessment methodologies, software, product life cycle, environmental impact, impact categories.

1. Увод

Потрошња енергије широм света за различите потребе брзо расте, што резултира стварањем значајних количина отпада и емисијама у животну средину. Поред тога, очекује се да ће се светска потрошња енергије повећати за 71% од 2003. до 2030. године. Стога је било неопходно предузимање важних корака од стране државних институција широм света како би се преузела иницијатива и применили потребни поступци и прописи за смањење потрошње енергије, а самим тим утицаја на животну средину. На пример, директива о енергетским перформансама зграда укључује еколошке методе за смањење емисије CO₂ и друге прописе који се односе на смањење потрошње енергије и концентрисање на обновљиве изворе енергије као и ефикасно управљање потражњом. [1, 2].

Унутар животног циклуса одређеног производа постоји редослед фаза животног циклуса. Углавном се ове фазе животног циклуса могу поделити на:

- фазу производње (екстракција сировина, руковање и прерада),
- фазу рада (уобичајена употреба и употреба производа према предвиђеној намени) и
- фазу одлагања (крај животног века производа крајњим одлагањем или рециклирањем).

Свака од ових фаза троши одређену количину енергије, минерала, воде итд., што касније изазива штетан утицај на животну средину. Овај утицај на животну средину може углавном утицати на три подручја заштите:

- природно окружење (екосистем),
- људско здравље и
- природне ресурсе [3].

Дуги низ година, смањење утицаја на животну средину усмеравано је ка смањењу отпада током процеса производње да би се смањило загађење воде, земљишта и ваздуха. Међутим, не узима се у обзир целокупни потенцијални негативни утицај на животну средину који је повезан са екосистемом, здрављем људи и потрошњом материјала и ресурса. Поред тога, не узима се у обзир ни пребацивање оптерећења, што значи да смањење негативног утицаја у одређеној фази животног циклуса може створити повећање негативног утицаја у другој одговарајућој фази животног циклуса. Дакле, решења можда нису довољно оптимизована и могу бити чак и контрапродуктивна што доводи до нежељених резултата [4].

Стога, из потребе да се смањи потрошња енергије и утицај на животну средину током свих фаза животног циклуса производа, и из потребе да се избегне пребацивање оптерећења, појавио се концепт Анализе животног циклуса (Life Cycle Analysis - LCA).

Постоје многе дефиниције Анализе животног циклуса у литератури. У Удружењу токсикологије и хемије у животној средини (Society of Environmental Toxicology and

Chemistry - SETAC) [5], LCA се дефинише као објективан процес за процену оптерећења животне средине која су повезана са производом, процесом или активношћу, идентификовањем и квантификавањем потрошње енергије и материјала, испуштања у животну средину и процени и примени могућности за утицај на побољшање животне средине. Процена укључује цео животни циклус производа, процесе или активности, обухватајући експлоатацију и обраду материјала, производњу, транспорт и дистрибуцију, употребу, поновну употребу, одржавање, рециклирање и коначно одлагање.

Друга дефиниција за LCA може се наћи у ISO14040 стандарду, где се LCA описује као техника за процену аспеката заштите животне средине и потенцијалних утицаја који су повезани са производом: анализом инвентара релевантних улаза и излаза производног система, проценом потенцијалних утицаја на животну средину који су повезани са улазима и излазима и интерпретацијом резултата анализе инвентара и фазама процене утицаја у односу на циљеве студије [6].

Израз „животни циклус“ односи се на главне активности током животног века производа, од екстракције и производње сировина, укључујући коришћење, потрошњу и одржавање, па до коначног одлагања.

Према томе, циљ студије Анализе животног циклуса је идентификовати потенцијалне могућности побољшања производа или процеса из перспективе смањења утицаја на животну средину и смањена употребе ресурса у свим фазама животног циклуса, избегавајући пребацивање оптерећења. То значи да LCA делује на минимизирање утицаја у једној фази животног циклуса, истовремено помажући избегавање повећања утицаја на другом месту у другој фази животног циклуса.

Укратко, LCA процењује све фазе животног циклуса производа у погледу њиховог утицаја на животну средину, а ове фазе зависе једна од друге, што значи да једна операција води ка другој. Другим речима, осим што помаже да се избегне пребацивање оптерећења из једне фазе у другу, LCA омогућава процену кумулативних утицаја на животну средину који су резултат свих фаза животног циклуса производа. Стога је LCA свеобухватан алат који се може применити у различитим областима и помоћи им да се носе са тренутним потребама за енергетским и еколошким перформансама [7].

У многим областима, оквир примене LCA бави се концептом „од колевке до гроба“, што значи да се бави животним циклусом производа од производне фазе (колевке), затим кроз оперативну фазу, и на крају све до фазе одлагања (гроба). Постоје и други принципи који се баве концептом „од колевке до колевке“ који је специфична врста концепта „од колевке до гроба“, где је корак збрињавања производа за крај животног века процес рециклирања или другим речима, улаз за нови процес. Овакав приступ ће довести до отворене студије у којој ће се отпад или одложени материјал користити као сировина за нови процес [3].

2. Историјат LCA

Развијања студије LCA почиње крајем шездесетих година 20. века, а покренуто је од стране америчког министарства за енергетику. Прве студије су спроведене како би се истражили аспекти животног циклуса производа и материјала и биле су фокусиране на претње као што су енергетске потребе и енергетска ефикасност [8, 9].

Другу иницијативу предузела је компанија Coca Cola [10] 1969. године. Усвојила је студију која је повезана са амбалажом пића, у којој је испитана потрошња ресурса и испуштање у околину. У међувремену, сличан приступ креирању инвентара и проучавању његових издања развијен је под називом Eco Balance у Европи, познат под називом Resource and Environmental Profile Analysis (REPA) у САД-у [11].

Касније, 1979. године, извршена је анализа инвентара о прорачуну укупне енергије која се користи у производњи различитих врста посуда за пиће, укључујући стакло, пластику, челик и алуминијум [12]. Ова врста студија темељно је проширена током 70-их са почетком нафтне кризе у Европи и САД-у.

До 1988. године, када је чврсти отпад постао глобални проблем, LCA студије су широко истраживане у правцу проблема заштите животне средине и стварања инвентара који ће утицати на испуштање у животну средину, све док SETAC није извршио еволуцију [5], где је померена употреба LCA од успостављања анализе инвентара до корака процене утицаја. Након тога, почетком 90-их, притисак организација за заштиту животне средине и потреба да се LCA студија широко препозна и стандардизује, довела је до успостављања LCA стандарда од стране Међународне организације за стандардизацију (ISO - International Organization for Standardization). Развијен је низ стандарда:

- стандарде за дефинисање циља и предмета [6],
- стандарде за дефинисање анализе инвентара [13],
- стандарде за процену утицаја животног циклуса [14] и
- стандарде за интерпретацију резултата [15].

2002. године Програм Уједињених нација за животну средину (United Nations Environment Program - UNEP) [16] придружио се SETAC-у како би покренуо иницијативу „Животни циклус“ која је плод међународног партнерства и има за циљ да спроведе идеје о животном циклусу у праксу и побољша алате за подршку преко квалитетнијих података и показатеља [17]. Слични пројекти попут CASCADE пројекта [8] су истовремено покренути како би се успоставили потребни стандарди за анализу животног циклуса и створила почетна референтна база података.

Тренутно се LCA користи у многим применама у различитим секторима (индустријски, грађевински, пољопривредни, итд.). Многи произвођачи из различитих индустрија, користе LCA као помоћни алат да би упоредили своје производе у складу са њиховим емисијама и испуштањем у околину. Неки произвођачи попут Volvo имају свој интерни LCA софтвер за процену и усмеравање перформанси својих производа ка одрживости животне средине [18].

3. Сврха употребе LCA

Главна потреба за успостављањем LCA студија настала је из потребе за квантификањем испуштања продуката у животну средину како би се идентификовале могућности побољшања у погледу нижих утицаја на животну средину и смањене потрошње ресурса током целог животног циклуса тог производа. Студија LCA се може користити у више сврха, а свака од њих може захтевати различит ниво детаља у вези са прикупљеним подацима. Подаци могу бити врло детаљни или поједностављени у складу са сврхом и применом за коју се користи LCA алат [19]. Неке од најчешће коришћених сврха LCA могу бити:

- развој производа,
- побољшање производа и
- маркетинг.

3.1. Развој производа

Развој производа помоћу LCA подразумева промене у дизајну производа зарад заштите животне средине. У фази дизајнирања производа постоји много опција за избор материјала и ресурса. Употреба LCA у развоју производа је пресудна јер ће свака одлука која се тиче материјала и ресурса утицати на следеће фазе животног циклуса производа [20]. Стога, што раније се LCA ефикасно примени у фази дизајнирања, нижи ће бити негативни утицај на животну средину.

У овом случају, употреба LCA-а захтева обимно прикупљање података и много времена. Међутим, поједностављење LCA у овом случају може бити корисно [21], тако да анализа и фокус могу бити на материјалима и ресурсима који значајно утичу на животну средину, а затим потражити алтернативна идејна решења пре него што се настави процес развоја.

3.2. Побољшање производа

Побољшање већ направљеног производа или процеса може бити лакше за прикупљање података. Када се LCA користи као алат за побољшање производа, важно је усредсредити се само на материјале и ресурсе који значајно утичу на производ.

На овај начин, неколико производа се може упоредити један са другим са становишта животне средине, где се утицај сваког производа процењује и упоређује са другим производима исте категорије. Затим се уграђују и сакупљају алтернативна решења за материјале или ресурсе који изазивају већи утицај у свакој фази животног циклуса (производња, употреба и одлагање) и целокупно решење се поново процењује [22].

3.3. Маркетинг

Маркетинг је процес комуницирања између карактеристика производа и потреба и очекивања купаца за одређеним нивоом квалитета. Како се ниво еколошке свести повећава, потрошач све више пажње посвећује еколошким особинама робе и услуга. У случају спровођења LCA у сврху еколошког маркетинга, најрелевантнија врста ове врсте маркетинга назива се еколошко означавање (Eco labelling) [3]. Означавање производа етикетом животне средине (еко-ознаком) сматра се доказом да је одређени производ еколошки прихватљив.

Када се производ поклапа са критеријумима за еколошко обележавање, он добија еко-ознаку и може бити привлачан у маркетиншке сврхе, тако да потрошачу могу да буду видљиви еколошки прихватљиви производи. Према уредби ЕУ о еколошком знаку, студија LCA је потребна за израду критеријума за еко-ознаку. ЕУ шема за етикетирање до сада је резултирала критеријумима за одређене групе производа: машине за прање веша, средства за побољшање тла, детерџенти, прашак за веш, боје и лакови, машине за прање судова, пећнице, тоалет папир, сијалице, телевизори, аутомобили, папири, фрижидери и замрзивачи, бојлери и климатизација, итд [3, 23, 24].

Друга врста маркетиншке намене слична шеми еко-ознаке је Декларација о еколошким производима (Environmental Product Declaration - EPD). EPD садржи разне информације о компонентама и карактеристикама животне средине производа заснованим на LCA и у складу са ISO14025 стандардом [25].

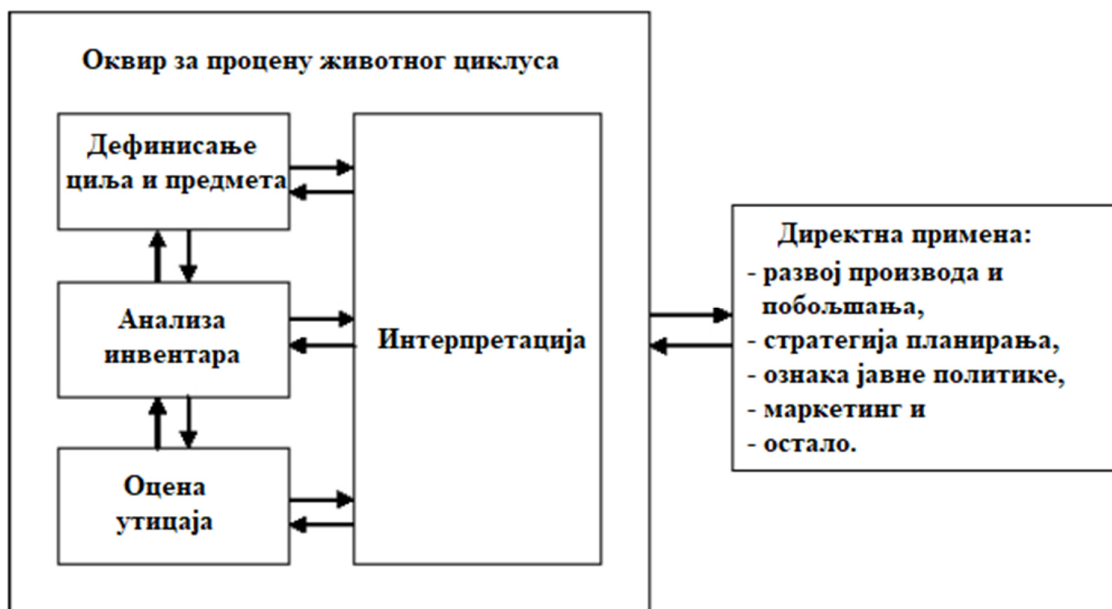
Општа идеја EPD-а је дати производу графички приказ његовог утицаја на животну средину, на пример, коришћењем бар-дијаграма. Према томе, професионални купци и еколошки свесни потрошачи могу лако протумачити ову графичку презентацију, али обичним потрошачима можда још увек нису јасни. Иако се понекад сматра да је EPD бољи од еко-обележавања, ниво детаља који је потребан за успостављање EPD-а је висок у поређењу са системом еко-обележавања, што може бити препрека његовом успеху и примени [3, 26].

4. Општи оквир LCA

Према ISO 14040 препорукама [6], дат је оквир за рад како би се спровео поступак LCA. Ове препоруке могу се сумирати у следећа четири главна корака:

- дефиниција циља и предмета;
- анализа инвентара;
- оцена утицаја животног циклуса и
- интерпретација резултата.

Ови кораци су приказани на слици 1. Двоструке стрелице између фаза указују на интерактивну и учесталу природу LCA. На пример, док се врши оцена утицаја, може се чинити да су одређене информације нејасне или недостају, што значи да се анализа инвентара мора побољшати. Други пример је да током фазе интерпретације, интерпретирани резултати могу бити нејасни или недовољни за испуњавање захтева примене, а то значи да се дефинисање циља и предмета можда требати ревидирати и модификовати [3]. Ове четири фазе су потребне за ефикасно спровођење LCA [6, 13-15].



Слика 1. Рад LCA оквира у складу са ISO14040 стандардом [6]

4.1. Дефинисање циља и предмета

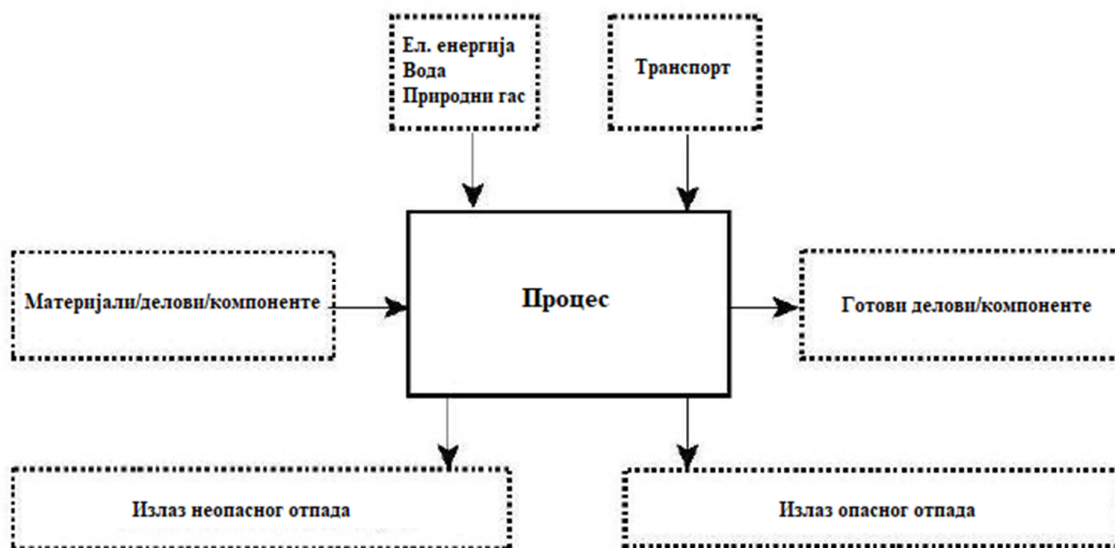
Дефиниција циља и предмета први је корак у процесу анализе животног циклуса у којем је дефинисан производ који се оцењује, као и контекст процене који треба извршити. Овај корак је јако битан у LCA процесу. Има велики утицај на корак оцене утицаја јер су идентификовани многи параметри, као што су потребно време и ресурси, сврха студије, предвиђена примена, границе система, методологија процене и опште претпоставке и ограничења. Стога ће се дефинисањем циља и предмета водити читав процес LCA како

би се осигурало постизање најрелевантнијих резултата [13]. Међутим, због итеративне природе LCA, током студије може доћи до промена у дефинисању циља и предмета.

4.2. Анализа инвентара

Резултат корака анализе инвентара (Life Cycle Inventory - LCI) је списак који садржи количине материјала и енергије потрошене током различитих фаза животног циклуса производа. Стога су у кораку анализе инвентара представљени употребљени материјали и енергетски токови производа да би се приказао производ и његови укупни улази и излази из и у природно окружење [13, 17, 27].

Као што је приказано на слици 2, LCI зависи од врсте и количине природних ресурса (воде, енергије итд.), материјала који се користе у производњи, начина транспорта, начина на који се производ користи током његовог животног века и начина на који се производ коначно одлаже. Разматрање и ефекти ових фактора могу бити различити од регије до регије. На пример, регион можда нема довољно ресурса за производњу одређеног производа, или други регион има различите технологије за производњу одређених материјала, или може више зависити од обновљивих извора енергије или фосилних горива. Ове разлике могу утицати на претпоставке и ограничења потребне за студију LCA.



Слика 2. Дијаграм тока који приказује улазе и излазе система у кораку анализе инвентара [17]

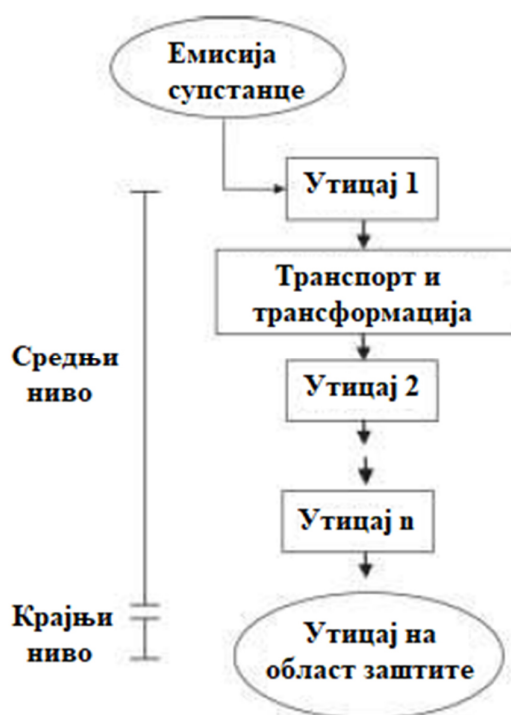
4.3. Оцена утицаја

Ово је корак у којем се LCI листа која садржи одговарајуће материјале и потрошене количине енергије везане за проучени производ тумачи и претвара у разумљиве индикаторе утицаја. Ови индикатори приказују како категорије утицаја оптерећују

животну средину. Ови показатељи закључују се кроз низ корака препоручених ISO14042 стандардима [14], при чему су неки од тих корака обавезни, а неки необавезни. Обавезни кораци су дефиниција и класификација категорија утицаја и карактеризација. Необавезни кораци су нормализација и агрегација (тежинско одмеравање).

4.3.1. Дефиниција и класификација категорија утицаја

Категорије утицаја се дефинишу и класификују да би се описали утицаји узроковани емисијама и потрошњом природних ресурса који настају током производње, употребе и одлагања разматраног производа или процеса. У већини методологија LCIA, емисије и потрошња ресурса могу се свести на три главне области заштите: квалитет еколошког система, здравље људи и природне ресурсе. Три главне области заштите зависе од неколико индикатора утицаја који приказују утицај на животну средину (индикатори средњег и крајњег нивоа).



Слика 3. Шематски приказ механизма за оцјену утицаја животне средине [28]

Слика 3 шематски приказује механизам за процену утицаја на животну средину који објашњава моделирање емисије супстанце кроз низ утицаја који доводе до загађења заштите животне средине. Приказана је разлика између моделирања средњег и крајњег нивоа дуж механизма [28].

Ове врсте моделирања (средњег и крајњег нивоа) представљају главну разлику између LCIA методологија, поред осталих фактора.

4.3.2. Карактеризација

Након што су одабране и дефинисане категорије утицаја, релативни утицај на животну средину сваког улазног и излазног параметра у склопу система производа додељен је категоријама утицаја и претворен у индикаторе који представљају одговарајуће потенцијалне утицаје на животну средину. То се постиже множењем резултата инвентара добијеног у фази класификације са факторима карактеризације сваке супстанце унутар сваке категорије утицаја као што је приказано једначином (1).

$$Category Indicator = \sum_s Characterisation Factor(s) \times Emission Inventory(s) \quad (1)$$

где је:

Category Indicator - индикатор категорије,

s - индекс који означава хемикалију,

Characterisation Factor - фактор карактеризације и

Emission Inventory - емисија инвентара.

Фактор карактеризације једначине (1) линеарно изражава утицај јединице масе (1 kg) емисије у животну средину. Као пример, релативни доприноси различитих гасова климатским променама се обично обједињују и упоређују у смислу еквивалента угљен-диоксида користећи потенцијала глобалног загревања (Global Warming Potentials - GWP). GWP₅₀₀ од 100 подразумева да 1 kg материје има исти кумулативни ефекат климатских промена као 100 kg угљен-диоксида током, у овом случају, 500 година временског периода [29].

Фактори карактеризације се израчунавају помоћу квантитативних модела заснованих на научној анализи релевантних процеса заштите животне средине. Модел карактеризације могу се разликовати од једне LCIA методологије до друге. Те разлике се могу приписати националним разликама у производним или енергетским процесима. Поред тога, коришћење различитих фактора нормализације и агрегације доводи до даљих разлика између методологија LCIA.

4.3.3. Нормализација

Нормализација је необавезни (изборни) корак, у складу са стандардима ISO14040 [6]. Међутим, нормализација даје предност смештању карактеристичних индикатора утицаја у шири контекст. Изражава се на начин који омогућава да се индикатори утицаја упореде један са другим, тако да се збир резултата сваке категорије дели са референтном вредношћу према једначини (2) на следећи начин:

$$N_k = S_k / R_k \quad (2)$$

где је:

k - категорија утицаја,

N - нормализовани индикатор,

S - индикатор категорије из фазе карактеризације и

R - референтна вредност или фактор нормализације.

Фактори нормализације се обично бирају да представе стварну или потенцијалну важност одговарајуће категорије утицаја за географско подручје током одређеног временског распона. Пример референтне вредности је годишњи национални допринос САД климатским променама у смислу GWP-а. Остали атрибути који се могу узети у обзир при избору референтне вредности су укупна емисија или употреба ресурса за дату област по глави становника, однос једне алтернативе према другој (тј. основна вредност) и највиша вредност међу свим опцијама [17, 29].

4.3.4. Агрегација

Иако се агрегација или тежинско одмеравање, као и корак нормализације, такође сматра необавезним кораком у складу са ISO стандардима [6, 13-15], и нормализација и агрегација су важни када је потребно поређење неколико решења. Агрегација је процес претварања резултата нормализованих показатеља различитих категорија утицаја у друге вредности коришћењем нумеричких фактора заснованих на субјективним проценама, односно ови тежински фактори (фактори агрегације) зависе од удела друштвених, политичких и етичких фактора. Процес агрегације се састоји од умножавања тежинских фактора на основу резултата нормализације за сваку категорију утицаја. Агрегација се често примењује у облику линеарних тежинских фактора према једначини (3), како следи:

$$EI = \sum V_k N_k \text{ or } EI = \sum V_k S_k \quad (3)$$

где је:

EI - укупни показатељ утицаја на животну средину,

V_k - агрегација за категорију утицаја *k*,

N - нормализовани индикатор и

S - индикатор категорије из фазе карактеризације [29].

Фактори агрегације сваке категорије утицаја представљају релативни значај те категорије утицаја на животну средину. Ови фактори су субјективни и могу се разликовати у зависности од географског подручја на основу социо-економских критеријума. На пример, категорија утицаја „потрошња воде“ може имати велики значај у земљама које пате од суше, а њен релативни значај у земљама са обилним водоснабдевањем је знатно нижи. Други пример је категорија утицаја „респираторни ефекти“ која може имати велики значај у областима које пате од великих стопа емисије које последишно утичу на здравље људи кроз респираторне ефекте. Разлика између корака нормализације и агрегације може се приметити, то јест, нормализација пружа основу за поређење различитих врста категорија утицаја на животну средину (сви утицаји добијају исту јединицу), док агрегација додељује релативне вредности различитим категоријама утицаја на основу њиховог значаја или релевантности [30]. Дакле, иако је корак агрегације необавезан у складу са ISO стандардима, његов значај се може сумирати у [3, 14]:

- изражавању релативне склоности организације или групе заинтересованих страна на основу политика, циљева и личних или групних мишљења или уверења и
- осигуравању да је процес видљив, документован и адекватан за извештавање и потврди да ли се релативни значај резултата заснива на сазнањима о овим питањима.

Агрегација се може сматрати и квалитативним и квантитативним кораком који се не заснива нужно на природним наукама, већ често на политичким или етичким вредностима [3, 31]. Методе агрегације су развијене од стране различитих институција и засноване су на различитим принципима [3, 29, 31, 32]. Неке од њих су следеће:

- Прокси приступ (Proxy approach) - у овом приступу наводи се да је једна или више квантитативних мера показатељ за укупни утицај на животну средину. Пример коришћења овог приступа је потрошња енергије, премештање материјала и потрошња простора;
- Монетаризација - сматра се методом агрегације која се спроводи кроз изражене приоритете, где се људи питају о њиховим приоритетима. На пример, питати људе о њиховој спремности да плате за очување животне средине или би радије прихватили деградацију животне средине. Метода монетаризације може се описати и вредностима које се мере агрегацијом људских склоности. Штавише, вредности квалитета животне средине могу се заменити другим производима;
- Удаљеност до циља - тежински фактори су повезани са циљем. О овом циљу могу да одлучују националне или локалне власти, унутар компаније итд. Дакле, циљ могу бити еколошки стандарди, циљеви квалитета животне средине или политички циљеви, где се могу користити за израчунавање критичних количина за емисије у ваздух, воду, тло или радно окружење; и
- Панелни приступ (Panel approach) - у овој методи се од групе људи тражи да рангирају различите категорије утицаја и категорије оштећења. Дакле, релативни значај категорија утицаја и оштећења добија се из одабране групе људи путем

анкета. Пожељније је да ова група људи буде састављена од научних стручњака, државних званичника или међународних тела.

4.4. Интерпретација резултата

У овом кораку тумаче се резултати оцене утицаја и утврђују се закључци како би се усмеравао процес доношења одлука. Дефинишу се критична питања заштите животне средине и препознаје значај релативног утицаја одређених компоненти или процеса производа на оптерећење животне средине. У зависности од потребе студије, верификација резултата може се извршити провером података у погледу три перспективе [3, 15, 27]:

- Провера потпуности - осигурати потпуност студије тако да претходно идентификовани значајни проблеми заштите животне средине представљају информације из различитих фаза LCA на одговарајући начин (анализа инвентара и оцена утицаја) у складу са дефинисаним циљем и предметом;
- Провера осетљивости - провера да ли на коначне резултате и закључке утичу несигурност у подацима или одабрана метода оцене. Стога је циљ провере осетљивости успоставити тражени степен поверења у резултате студије у односу на њен укупни циљ. Ова провера се углавном користи како би се тестирале претпоставке дате током студије. Провера осетљивости може се извршити сценаријом „шта ако“, где се вредност различитих улазних параметара систематски мења. То се може урадити и употребом симулација (нпр. Монте Карло симулације); и
- Провера доследности - процена доследности метода, поступака и третмана података који се користе током студије и провера њихове усклађености са циљем и предметом студије. Ставке које могу бити подвргнуте провери доследности су: извор података, тачност података, географска заступљеност, системске границе и претпоставке.

5. Преглед методологија LCIA

Метода оцене утицаја животног циклуса (Life Cycle Impact Assessment - LCIA) у оквиру LCA студије је најкритичнији корак, јер се интензивно бави количином података који су приказани у резултатима анализе инвентара. Ови резултати инвентара затим се трансформишу у разумљиве индикаторе утицаја унутар категорија утицаја након проласка кроз сложено моделирање животне средине засноване на науци о животној средини и природи (карактеризација и нормализација) и такође узимајући у обзир политичка, друштвена и етичка питања (агрегација). Због ове сложености у кораку LCIA, развијене су методологије које поједностављују и оптимизују поступак LCIA. LCIA методологије су алати развијени за повезивање резултата LCI са припадајућим утицајима на животну средину, где су резултати LCI класификовани у категорије утицаја, а свака има индикатор категорије. На овај начин, развој методологија за LCIA олакшава поређења и компромис између различитих алтернатива производа и поједностављује поступак за оне који користе LCA [7].

Унутар корака LCIA могу се одвијати два приступа карактеризације дуж путање индикатора утицаја:

- приступ средњег нивоа (midpoint approach) и
- приступ крајњег нивоа (endpoint approach).

Карактеризација на средњем нивоу моделира утицај користећи индикатор који се налази негде дуж механизма методологије, али пре категорија крајњих нивоа, док карактеризација на крајњем нивоу захтева моделирање све до крајњих категорија које су описане у областима заштите (у већини методологија главна подручја заштите су: квалитет еколошког система, људско здравље и ресурси).

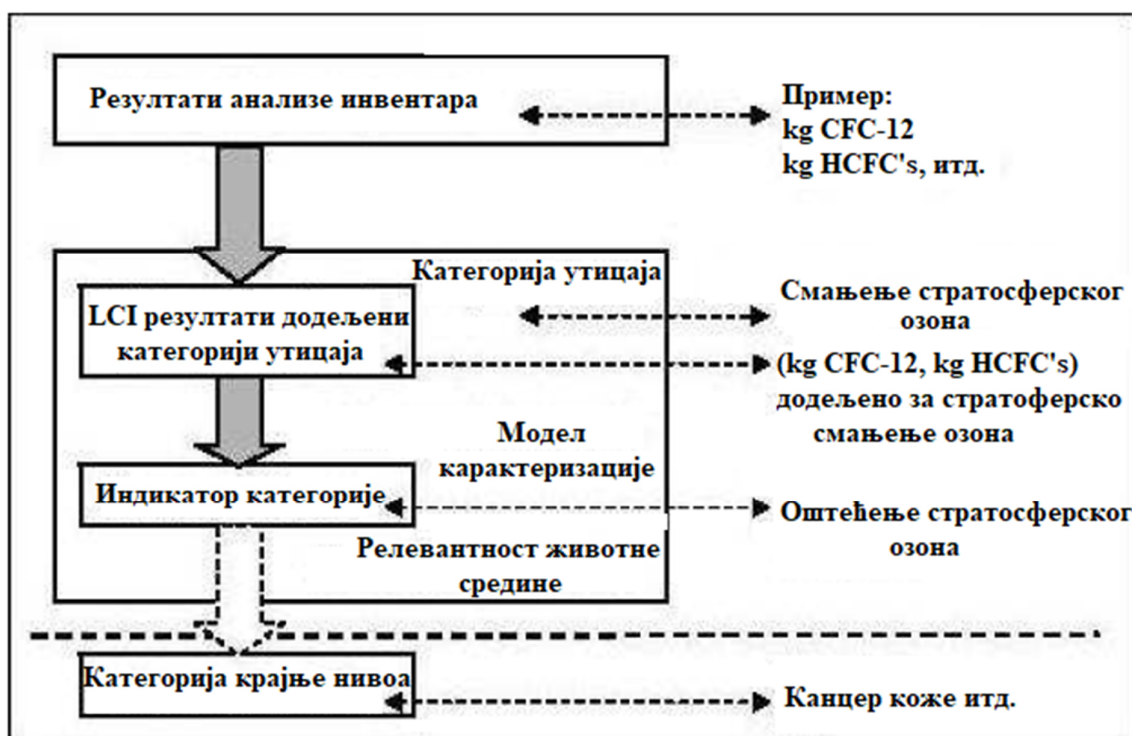
Стога се индикатори категорије могу налазити између резултата анализе инвентара животног циклуса и крајњих нивоа категорије (где се дешава утицај на животну средину) у ланцу узрока. У том контексту развијене су две главне врсте методологија [33]:

- Класичне методе оцене утицаја (методе оријентисане на проблем) - на пример, CML и EDIP методе. Ове методе процене ограничавају квантитативно моделирање у раним фазама у узрочно-последичном ланцу и групишу резултате LCI на такозване категорије средњег нивоа, према темама. Те теме су уобичајени механизми или опште прихваћено груписање у поткатегорије утицаја; и
- Методе оријентисане на оштећења као што су Eco Indicator 99 и EPS. Ова метода оцене утицаја моделира ланац узрока и последица до крајњег нивоа, или другим речима, до оштећења које се односи на различита разматрана подручја заштите животне средине.

Може се дати још једно појашњење како би се разликовала два приступа (средњег и крајњег нивоа) на следећи начин. У приступу средњег нивоа, узрочно-последични ланац почиње специфичним процесом или активношћу која доводи до емисије и последично се

појављују примарне промене у окружењу. Ове примарне промене се често дешавају рано у ланцу узрока и последица и често су хемијске и физичке промене. На пример, у случају проучавања примарних ефеката климатских промена, примећују се промене концентрације гасова у атмосфери или промене инфрацрвеног зрачења. Резултати LCI представљају допринос различитим проблемима заштите животне средине као што су глобално загревање или оштећење стратосферског озона. То се назива приступ средњег нивоа. Стога је приступ средњег нивоа такође познат и као проблемски оријентисан приступ.

Касније, у узрочно-последичном ланцу се често дешавају биолошке промене које су представљене штетним дејством на екосистеме, људско здравље и ресурсе. На пример, једна од штета по здравље људи која настаје услед губитка стратосферског озона је пораст учесталости појаве карцинома коже. То се зове приступ крајњег нивоа. Стога је приступ крајњег нивоа познат као приступ оријентисан на штету (оштећење). На слици 4 приказан је пример разлике између приступа оцењивања средњег и крајњег нивоа [34].



Слика 4. Пример разлике између приступа оцењивања средњег и крајњег нивоа [34]

Укратко, методе које се заснивају на раним променама у узрочно-последичном ланцу називају се методама средњег нивоа, док су методе крајњег нивоа или методе оштећења оне које се заснивају на каснијим променама механизма заштите животне средине.

Између SETAC-а [5] и UNEP-а [16] је покренуто партнерство познато као Иницијатива животног циклуса (Life Cycle Initiative) [35] након препорука датих на светском самиту о одрживом развоју у Јоханесбургу [36]. Један од циљева ове иницијативе је предлагање свеобухватног алата LCIA који се комбинује помоћу обе врсте LCIA метода (средњи и

крајњи ниво). Иницијатива животног циклуса препоручује коришћење предности оба приступа. Прецизнијим и детаљно договореним описом главних елемената оквира, очекивано је да Иницијатива животног циклуса пружа заједничку основу за даљи развој конзистентних метода процене утицаја комбинацијом између приступа средњег и крајњег нивоа. Из овога су произашле методе попут RECIPE, Impact 2002+ и јапанске методологије LIME [37].

Поред разлика између методологија LCIA у приступу моделирању животне средине (средњег и крајњег нивоа), постоје и друге разлике које се могу приметити [38], као што су:

- број категорија утицаја обухваћених сваком методологијом (категорије средњег и крајњег нивоа),
- број супстанци обухваћених сваком методологијом и
- разлика у одговарајућим критеријумима и моделима потребним за кораке карактеризације, нормализације и агрегације, што последично утиче на регионалну важност методологије, односно може се поставити питање да се прецизира да ли је методологија развијена на основу окружења (профил животне средине), одређеног континента или земље (просторна диференцијација). Још једно испитивање које се може појавити је временска важност коришћених података, која се доводи у питање ако су подаци коришћени у моделирању врло стари и не одговарају тренутним променама у окружењу.

Појавиле су се и друге врсте методологија LCIA, које нису разврстане у складу са техником приступа моделирању. Ове методологије сматрају се специфичним методологијама LCIA које се баве проценом одређених подручја животне средине или категорија утицаја. Примери ових метода су: Cumulative Energy Demand, Cumulative Exergy Demand и Ecological foot print.

Стога се типови методологија LCIA могу поделити на следећи начин:

- методологије приступа средњег нивоа,
- методологије приступа крајњег нивоа,
- комбиноване методологије приступа средњег и крајњег нивоа и
- остале методологије засноване на LCA.

Табеле од 1 до 4 приказују преглед широко коришћених методологија LCIA које су истакнуте у овом раду. Приказани су модели којем припада свака методологија (средњег нивоа, крајњег нивоа, комбинована или друга) и одговарајуће категорије утицаја.

Табела 1. Преглед проучаваних методологија LCIA орјентисаних ка средњем нивоу [7]

Методологија	Категорије утицаја (средњи ниво)	Области заштите
CML	Категорије обавезних утицаја: Исцрпљивање абиотичких ресурса, климатске промене, стратосферско смањење озона, токсичност по људе, екотоксичност слатководне воде, екотоксичност морске воде, екотоксичност земље, стварање фотооксиданата, формирање киселина и еутрофикација. Категорија необавезних утицаја: Губитак функције одржавања живота, губитак биолошке разноликости, екотоксичност слатководних седимената, екотоксичност морских седимента, утицаји јонизујућег зрачења, загађени ваздух, бука, отпадна топлота, разни губици, смртоносни утицај, исцрпљивање природних ресурса, исушивање и загађење воде.	Здравље људи, природно окружење, човеково окружење, људски ресурси.
EDIP 2003	Глобално загревање, смањење озонског омотача, формирање киселина, еутрофикација, водена еутрофикација, фотохемијско формирање озона, токсичност, екотоксичност и бука.	Здравље људи, екосистем и ресурси.
TRACI	Губитак озонског омотача, глобално загревање, стварање смога, формирање киселина, еутрофикација, канцерогени утицај на људско здравље, неканцерогени утицај на људско здравље, критични загађивачи људског здравља, екотоксичност и исцрпљивање фосилних горива.	Здравље људи, екосистем и ресурси.

Табела 2. Преглед проучаваних методологија LCIA орјентисаних ка крајњем нивоу [7]

Методологија	Категорије оштећења (крајњи ниво)	Области заштите
EI99	Климатске промене, оштећење озонског омотача, формирање киселина, еутрофикација, канцерогени утицај на људско здравље, респираторни ефекти, јонизујуће зрачење, екотоксичност, употреба земљишта, минерални ресурси, фосилни ресурси.	Здравље људи, екосистем и ресурси.
EPS 2000	Очекивани животни век, тешки морбидитет и страдање, морбидитет, тешка неугодност, неадекватан капацитет производње усева, капацитет производње дрвета, капацитет производње рибе и меса, капацитет базног катјона, капацитет производње воде, удео изумирања врста, исцрпљивање резервних елемената, исцрпљивање фосилних резерви (гас, угаљ и нафта) и исцрпљивање минералних резерви.	Здравље људи, производни капацитет екосистема, биодиверзитет и абиотичке залихе ресурса.

Eco Scarcity	Смањење количине озона, стварање фотохемијских оксиданата, респираторни ефекти, емисије у ваздух, емисије површинске воде, радиоактивне емисије, канцер изазван радиоактивним нуклидима који се емитују у море, емисије у подземне воде, емисије у земљиште, комунални (реактивни) отпад испуњен земљом, опасни отпад (складиштен подземно), радиоактивни отпад, потрошња воде, потрошња шљунка, примарни енергетски ресурси, ендокрини разарачи и губици биолошке разноликости. (Категорије оштећења одређују се према политичком програму одговарајуће државе или региона.)	Здравље људи, екосистем и ресурси.
JEPIX	Смањење количине озона, стварање фотохемијских оксиданата, респираторни ефекти, емисије у ваздух, емисије површинске воде, радиоактивне емисије, канцер изазван радиоактивним нуклидима који се емитују у море, емисије у подземне воде, емисије у земљиште, комунални (реактивни) отпади испуњен земљом, опасни отпад (складиштен подземно), радиоактивни отпад, потрошња воде, потрошња шљунка, примарни енергетски ресурси, ендокрини разарачи и губици биолошке разноликости. (Категорије оштећења одређују се према политичком програму одговарајуће државе или региона.)	Здравље људи, екосистем и ресурси.

Свака од ових методологија чини базу података и материјала који се користе у LCA студијама. У методологијама LCIA користе се посебни софтверски алати. Неки од најпознатијих софтверских алата су: Gabi [39], Sima Pro [40], GEMIS [41] и BEES [42]. Употреба таквих софтверских алата захтева много обуке и дубоког познавања LCA. Међутим, у већини случајева, при LCA се не спроводи детаљно корак процене утицаја (карактеризација, нормализација и агрегација), јер се он ефикасно обавља помоћу софтверских алата и одговарајућих LCIA методологија.

Табела 3. Преглед комбиновано оријентисаних методологија LCIA [7]

Методологија	Категорије утицаја (средњи ниво)	Категорије оштећења (крајњи ниво)	Области заштите
RECIPE	Климатске промене, оштећење озонског омотача, формирање киселина, еутрофикација земљишта, еутрофикација слатких вода, морска еутрофикација, токсичност по људе, формирање фотохемијских оксиданата, формирање честица, екотоксичност земље, екотоксичност слатке воде, морска екотоксичност, јонизујуће зрачење, загађење пољопривредног земљишта, загађење урбаног земљишта, загађење природног земљишта, исцрпљивање воде, исцрпљивање минералних ресурса, исцрпљивање фосилних горива.	Оштећење здравља људи, оштећење разноликости екосистема и оштећење расположивости ресурса.	Здравље људи, екосистем, климатске промене и ресурси.

LIME	Оштећење озонског омотача, глобално загревање, формирање киселина, формирање фотохемијских оксиданата, регионално загађење ваздуха, хемикалија токсична за људе, екотоксична хемикалија, еутрофикација, коришћење земље, депоновање, ресурси и потрошња.	Катаракта, карцином коже, други карциноми, респираторне болести, термички стрес, заразне болести, хипералиментација, пољопривредна производња, шумарство, рибарство, губитак у коришћењу земље, потрошња енергије, кориснички трошкови, земљани екосистем, водени екосистем.	Здравље људи, социјална заштита, нето примарна производња и биолошка разноликост.
IMPACT 2002+	Токсичност по људе, респираторни ефекти, јонизујуће зрачење, оштећење озонског омотача, формирање фотохемијских оксиданата, екотоксичност воде, екотоксичност земље, еутрофикација воде, еутрофикација земље, формирање киселина, загађење земљишта, глобално загревање, необновљиви извори енергије и екстракција минерала.	Оштећење по здравље људи, оштећење квалитета екосистема, оштећење климатским променама и оштећење ресурса.	Здравље људи, екосистем и ресурси.
LUCAS	Климатске промене, оштећење озонског омотача, формирање киселина, фотохемијски смог, респираторни ефекти, еутрофикација воде, еутрофикација земље, екотоксичност, токсичност по људе, загађење земљишта, исцрпљивање абиотичких ресурса.	У развоју.	Здравље људи, екосистем и ресурси.

Табела 4. Преглед осталих проучаваних методологија заснованих на LCA [7]

Методологија	Категорија утицаја
МЕЕур	Потрошња енергије, потрошња воде, материјали у употреби, отпад и инсинерација, стварање опасног отпада, емисије у ваздух.
BEES	Глобално загревање, формирање киселина, еутрофикација, исцрпљивање фосилних горива, квалитет ваздуха у затвореном простору, измена станишта, потрошња воде, критеријум загађивачи ваздуха, смог, екотоксичност, оштећење озона и здравље људи.
Ecological footprint	Разматра се пет врста директне употребе земљишта: ораница, пашњак, шума, изграђено подручје и хидроенергетска површина и две индиректне употребе земљишта: фосилна горива и нуклеарна енергија.
USEtox	Екотоксичност.

EDP	Загађење земљишта, трансформација земљишта и биолошка разноликост.
IPCC	Климатске промене.
CED	Фосилни ресурси попут тврдог угља, лигнита, тресета, природног гаса и сирове нафте, нуклеарни и други обновљиви ресурси као што су: биомаса, вода, ветар и соларна енергија.
CExD	Фосилни ресурси, попут тврдог угља, лигнита, тресета, природног гаса и сирове нафте, нуклеарни и други обновљиви ресурси као што су: биомаса, вода, ветар и соларна енергија. Неенергетски ресурси као што су вода, минерали и метали.
Emergy	Обновљиви и необновљиви извори енергије, отпад, губитак земљишта, људски рад и употреба воде.
CExC	Фосилни ресурси попут тврдог угља, лигнита, тресета, природног гаса и сирове нафте, нуклеарни и други обновљиви ресурси као што су: биомаса, вода, ветар и соларна енергија.
CEENE	Фосилни ресурси попут тврдог угља, лигнита, тресета, природног гаса и сирове нафте, нуклеарни и други обновљиви ресурси као што су: биомаса, вода, ветар и соларна енергија. Неенергетски ресурси као што су вода, минерали и метали. Употреба земљишта.

У зависности од врсте методологије и начина на који се студија врши (основни или напредни ниво помоћу софтверских алата), приликом процене утицаја одређеног производа и његових одговарајућих компоненти, процена сваке категорије утицаја и израчунавање коначних бодова резултата утицаја дају се једначином (4):

$$IMP_j = \sum_k d_{k,j} \cdot LCI_k \quad (4)$$

где је:

IMP_j - категорија утицаја,

$d_{k,j}$ - коефицијент оштећења извучен из одговарајуће базе података методологије LCIA и повезан са компонентом **k** и утицајем **j** и

LCI_k - унос инвентара животног циклуса (тј. kg полиуретана) [43, 44].

5.1. Методологије приступа средњег нивоа

5.1.1. CML

CML је метода орјентисана ка средњем нивоу и први пут је развијена на Институту наука о животној средини Универзитета у Лејдену [45]. Метода CML групише категорије утицаја у две групе:

- обавезне категорије утицаја (основне категорије утицаја) и то су категорије утицаја које се користе у већини LCA студија и
- додатне (необавезне) категорије утицаја које су оперативне категорије утицаја и зависе од захтева студије.

Основне категорије утицаја у овој методологији су следеће: исцрпљивање абиотичких ресурса, климатске промене, оштећење озонског омотача, токсичност по људе, екотоксичност слатководних вода, екотоксичност земље, стварање фотооксиданата, формирање киселина и еутрофикација.

Необавезне категорије утицаја које могу бити укључене у студију, односно, зависе од захтева студије, могу бити: губитак функције одржавања живота, губитак биолошке разноликости, екотоксичност седимента слатке воде, екотоксичност седимента у мору, утицаји јонизујућег зрачења, загађење ваздуха, бука, отпадна топлота, смртоносни и несмртоносни случајеви, исцрпљивање биотичких ресурса, исушивање и загађење воде.

Карактеризација се заснива на глобалним и европским просечним вредностима. Нормализација се врши тако да су основни фактори глобалне нормализације доступни као годишње интервенције у свету по глави становника или као годишње интервенције просечног становника у свету. Ниједна метода агрегације није уграђена у ову методологију.

Регионална важност категорија утицаја методологије CML је и глобална, осим формирања киселина и стварања фотооксиданата, који се заснивају на просечним европским вредностима [38, 46].

5.1.2. EDIP 2003

Методу EDIP (Environmental Design of Industrial Products - Еколошки дизајн индустријских производа) развио је 1996. Институт за развој производа на Данском техничком универзитету [47] где је развијена прва методологија EDIP 1997. Ова методологија је усмерена ка средњем нивоу.

Категорије утицаја које се разматрају у овом контексту су: глобално загревање, смањивање озонског омотача, формирање киселина, еутрофикација, водена еутрофикација, фотохемијско формирање озона, токсичност, екотоксичност и бука. Касније су нека побољшања која се тичу фактора карактеризације учињена и уведена у верзији EDIP 2003. Ова побољшања представљена су развојем фактора карактеризације EDIP-а 2003 у зависности од локације и опште форме локације, а не само од опште форме локације као у EDIP-у. 1997. Разлика између оба облика карактеризације је у томе што општа форме локације занемарује просторне варијације у дисперзији и дистрибуцији материје и изложености циља.

Просторна диференцијација значи да емисије и отпад настали одређеним процесом нису нужно исти у свакој земљи. У облику EDIP 2003 који зависи од локације, емисија се одвија и покрива дисперзију, таложење и осетљивост екосистема зависно од локације, тако да су фактори карактеризације просторно разрешени на нивоу земаља. То омогућава да разлике у утицају емисије у различитим земљама представљају део карактеризације, односно да емисије у конвенционалној табели инвентара морају бити подељене на емисије по земљама. Међутим, истраживања показују да неке категорије утицаја не резултирају значајним разликама у резултатима када се у обзир узме просторна разлика у оба приступа [38, 48].

Фактори нормализације за свет и Европу доступни су као годишњи резултат утицаја на просечног грађанина за све категорије утицаја. Агрегација се врши помоћу приступа удаљености од политичких циљева [49, 50].

Регионална важност категорија утицаја методологије сматра се и глобалним за категорије утицаја које нису само од регионалног значаја, већ су и од глобалног значаја, као што су глобално загревање и оштећење озонског омотача.

5.1.3. TRACI

TRACI (Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and other environmental Impacts - Алат за смањење и процену хемијских и других утицаја на животну средину) је методологија усредсређена на категорију утицаја средњег нивоа коју је развила Агенција за заштиту животне средине (EPA) у САД [51], са циљем да помогне у процени утицаја дизајна процеса и постизања превенције загађења.

Категорије средњег утицаја за ову методологију су: оштећење озонског омотача, глобално загревање, стварање смога, формирање киселина, еутрофикација, канцерогени утицај на људско здравље, неканцерогени утицај на људско здравље, критеријум

загађивачи људског здравља, еколошка токсичност и исцрпљивање фосилних горива. Категорије утицаја изабране су и окарактерисане на основу претпоставки датих за потребе Смерница за процену ризика за фонд основан за финансирање дугорочног, скупог пројекта [52] (америчка Агенција за заштиту животне средине - Приручник фактора изложености) [53-55].

Фактори нормализације заснивају се на годишњим емисијама и изворима из САД. За ову методологију није развијена посебна агрегација, међутим, оснивачи предлажу панел приступ за агрегацију [56].

Регионална важност категорија утицаја највише одговара САД-у. Међутим, као у случају других методологија, одређене категорије утицаја као што су оштећење озонског омотача и глобално загревање сматрају се категоријама глобалног утицаја.

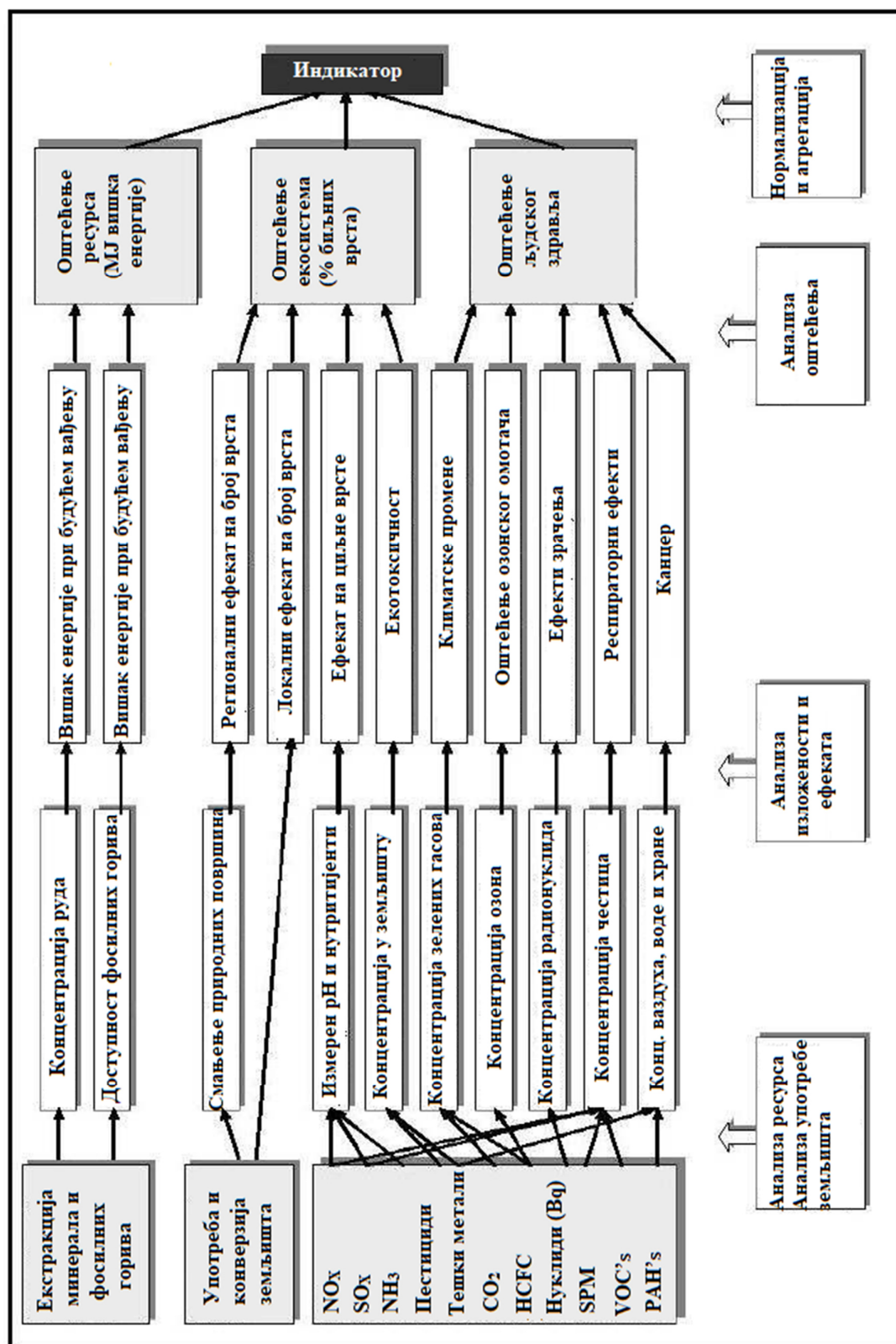
5.2. Методологије приступа крајњег нивоа

5.2.1. Eco Indicator 99

Метода Eco Indicator је метода оријентисана на категорију утицаја крајњег нивоа коју су PRé консултанци [57] први пут развили 1995. у оквиру холандског програма NOH у заједничком пројекту са Philips Consumer Electronics [58], NedCar (Volvo/Mitsubishi) [59], Océ Copiers [60], Schuurink [61], CML Leiden [45], TU-Delft, IVAM-EP (Амстердам) [62] и CE Delft [63].

Извршено је неколико побољшања све док 1999. није развијена друга методологија (EI99). Побољшања учињена у EI99 представљена су у пружању боље научне основе за моделе оштећења, тако да је приступ поузданији. Поред тога, листа индикатора је проширена, а методологија је додатно побољшана за израчунавање индикатора [57, 64]. Подразумева следеће категорије оштећења животне средине: климатске промене, оштећење озонског омотача, формирање киселина, еутрофикација, канцерогени утицај, респираторни ефекти, јонизујуће зрачење, екотоксичност, употреба земљишта, минерални ресурси и фосилни ресурси. Ове категорије се даље обједињују у три области заштите које су: квалитет еколошког система, здравље људи и природни ресурси.

Прорачун вредности карактеризације и нормализације извршен је коришћењем података о експлоатацији ресурса и емисијама које су претходно прикупљене у студији која је извршена у сврху развоја вредности карактеризације и нормализације за холандску и европску територију. Те вредности се заснивају на еколошким интервенцијама које су резултат генерисања у Европи. Агрегација се врши помоћу панела. У методологији EI99, приступ агрегације се примењује на три области заштите. Ово се разликује од других методологија где је агрегација додељена за више од десет категорија утицаја. Додељивање тежине подручјима заштите је једноставније од додељивања тежине категоријама утицаја. Додела тежине категоријама утицаја захтева велико знање о механизму ефеката, њиховој вероватноћи и начину на који могу нанети потенцијалну штету [38, 64, 65].



Слика 6. Категорије утицаја и механизам методологије EI99 [38, 64]

Регионална важност категорија утицаја на методологију је европска. Одређене категорије су део глобалне забринутости као што су климатске промене, оштећење озонског омотача и ресурси.

5.2.2. EPS 2000

EPS методологија (Environmental Priority Strategies in product design - Стратегије приоритета заштите животне средине у дизајну производа) први пут је развијена 1989. године сарадњом између Volvo [18], Шведског института за истраживање животне средине [66] и Шведске индустријске федерације [67] са циљем да се развије алат који задовољава ефикасне еколошке захтеве процеса развоја производа [57, 68].

EPS је метода оријентисана на категорије утицаја средњег нивоа. Разматра следеће категорије утицаја: очекивани животни век, морбидитет, производни капацитет усева, капацитет производње дрвета, капацитет производње рибе и меса, капацитет основног катјона, капацитет производње воде, удео изумирања врста, исцрпљивање елементарних резерви, исцрпљивање резерви фосилних материја (гас, угља и нафте), и исцрпљивање резерви минерала. Ово обухвата четири области заштите: здравље људи, производни капацитет екосистема, биодиверзитет и абиотичке залихе ресурса.

Карактеризација међу еколошким категоријама врши се по принципу предострожности користећи три методе: емпиријску методу, методу еквиваленције и механичке методе које узимају у обзир глобалне услове. [68, 69]. Нормализација се не користи у овој методи. Агрегација се врши на основу метода монетаризације (спремност на плаћање).

Регионална важност категорија утицаја методологије је глобална, осим за категорију оштећења биолошке разноликости (биодиверзитета), која се заснива на шведским моделима.

5.2.3. Eco Scarcity method (Eco points)

Eco scarcity метода (или Eco points метода) први пут је поменута 1990. године, а објављена у Швајцарској 1997. То је методологија оријентисана на категорију утицаја крајњег нивоа, где су категорије утицаја одређене у складу са политичким циљевима. Обухвата следеће категорије оштећења: оштећење озонског омотача, стварање фотохемијских оксиданата, респираторни ефекти, емисије у ваздух, емисије површинске воде, радиоактивне емисије, канцер изазван радиоактивним нуклидима који се емитују у море, емисије у подземне воде, емисије у земљиште, опасни отпад (складиштен под земљом), радиоактивни отпад, потрошња воде, потрошња шљунка, примарни енергетски ресурси, ендокрини разарачи и губици биодиверзитета.

Покривене категорије оштећења одређују се према политичким циљевима за одређену земљу или регион. То пружа предност што свака држава или регион може израчунати своје еколошке циљеве у складу са својим законодавством и политичким планом. Као пример, Јапан је усвојио методологију док је израчунавао сопствене показатеље крајњих

утицаја на основу своје националне еколошке ситуације и законодавства. То доводи до развоја ЈЕРИХ методологије [70].

Карактеризација и нормализација се врши на основу података Швајцарске из 2004. Подаци су ажурирани касније у новој верзији развијеној 2006. Ови подаци се израчунавају помоћу тренутног нивоа загађења (тренутни токови) и загађења која се сматрају критичним (критични токови). Критични токови се изводе помоћу научно подржаних циљева швајцарске политике заштите животне средине. Агрегација се врши помоћу приступа удаљености од циља на основу циљева политике заштите животне средине Швајцарске.

Сматра се да је регионална важност методологије за Швајцарску, пошто је развијена за ту земљу. Међутим, као и у случају других методологија, нека претње су од глобалног значаја, попут оштећења озонског омотача и ресурса [71-73].

5.2.4. ЈЕРИХ

ЈЕРИХ метода (Japan Environmental Policy Priorities Index - Јапански индекс приоритета политике заштите животне средине) је методологија LCIA заснована на раније описаној методологији Eco Scarcity. Први пут је развијена 2003. године уз учешће јапанског Министарства заштите животне средине [74], Министарства за економију, трговину и индустрију [75] и Министарства за образовање и технологију [76].

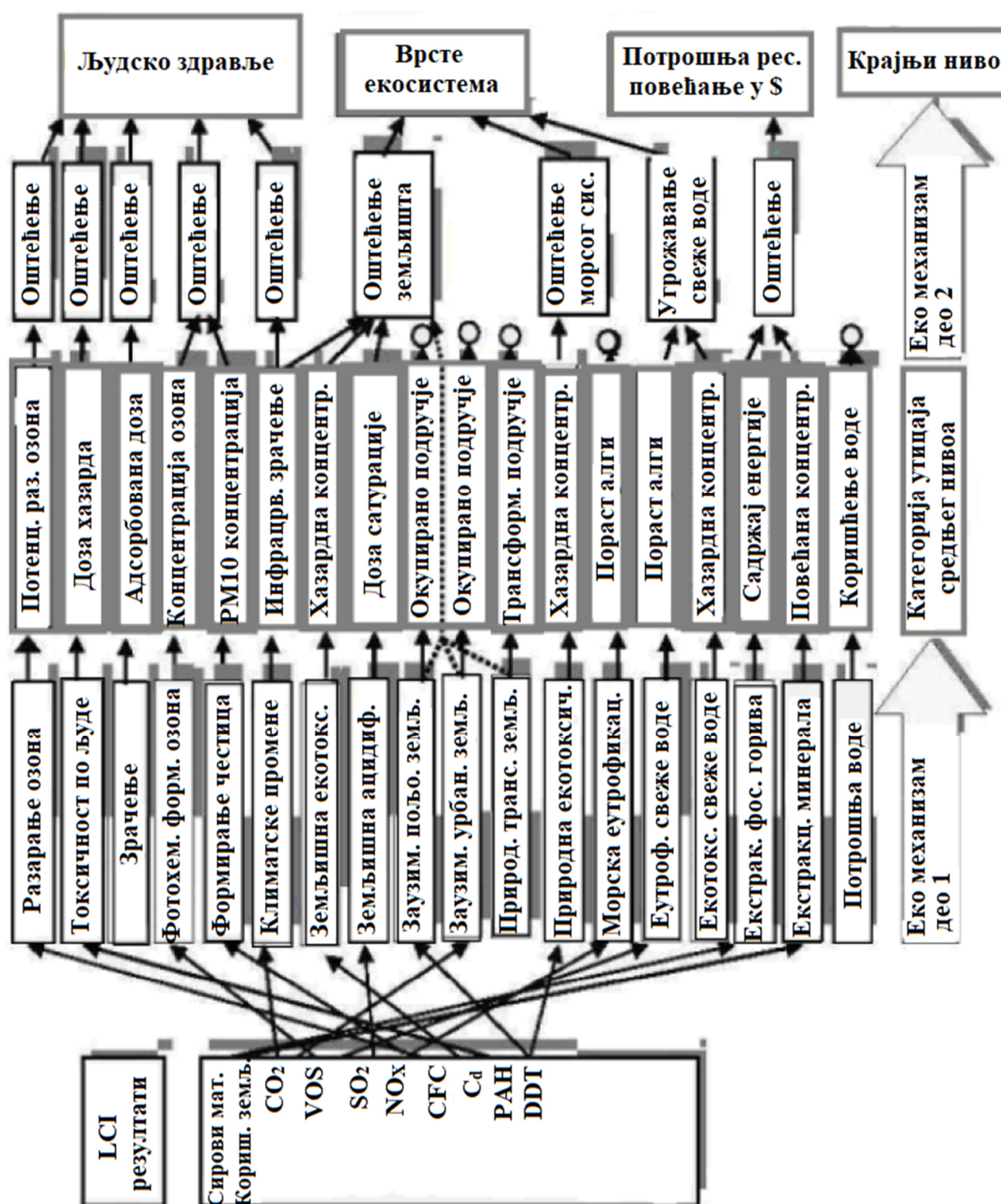
Јавне компаније су током спровођења LCA студија и употребом LCIA методологија користиле европске методологије LCIA и тако користиле моделе оштећења повезане са Европом. Дакле, ЈЕРИХ методологија објављена је на основу методе Eco Scarcity, али променом политичких циљева у складу са јапанском политичком агендом и њеним условима у окружењу. Дакле, ово чини регионалну важност ЈЕРИХ методологије за Јапан. Међутим, као и у случају других методологија, нека питања су од глобалног значаја, попут оштећења озонског омотача и ресурса [77-79].

5.3. Комбиновани приступ средњем и крајњем нивоу

5.3.1. RECIPE

Развој Recipe методологије спроведен је сарадњом многих произвођача који раде у области LCA као што су RIVM [80], CML [44], PRé Consultants [57], Radboud University Nijmegen [81] и CE Delft [63]. Ова методологија се сматра наставком CML 2002 и методологије Eco Indicator 99. Резултати индикатора одређују се на сличан начин као у методи EI99. Ова метода комбинује оба приступа моделирања категорије утицаја средњег и крајњег нивоа. Категорије утицаја средњег нивоа: климатске промене, оштећење озонског омотача, закисељавање земљишта, еутрофикација слатких вода, морска еутрофикација, токсичност по људе, стварање фотохемијских оксиданата, стварање чврстих честица, екотоксичност земље, екотоксичност слатке воде, екотоксичност мора, јонизујуће зрачење, загађење пољопривредног земљишта, загађење

урбаног земљишта, природна трансформација земљишта, исцрпљивање воде, исцрпљивање минералних ресурса, исцрпљивање фосилних горива. Категорије крајњег нивоа су: оштећење здравља људи, оштећење биодиверзитета и оштећења расположивих ресурса.



Слика 7. Категорије утицаја и механизам ReCiPe методологије [83]

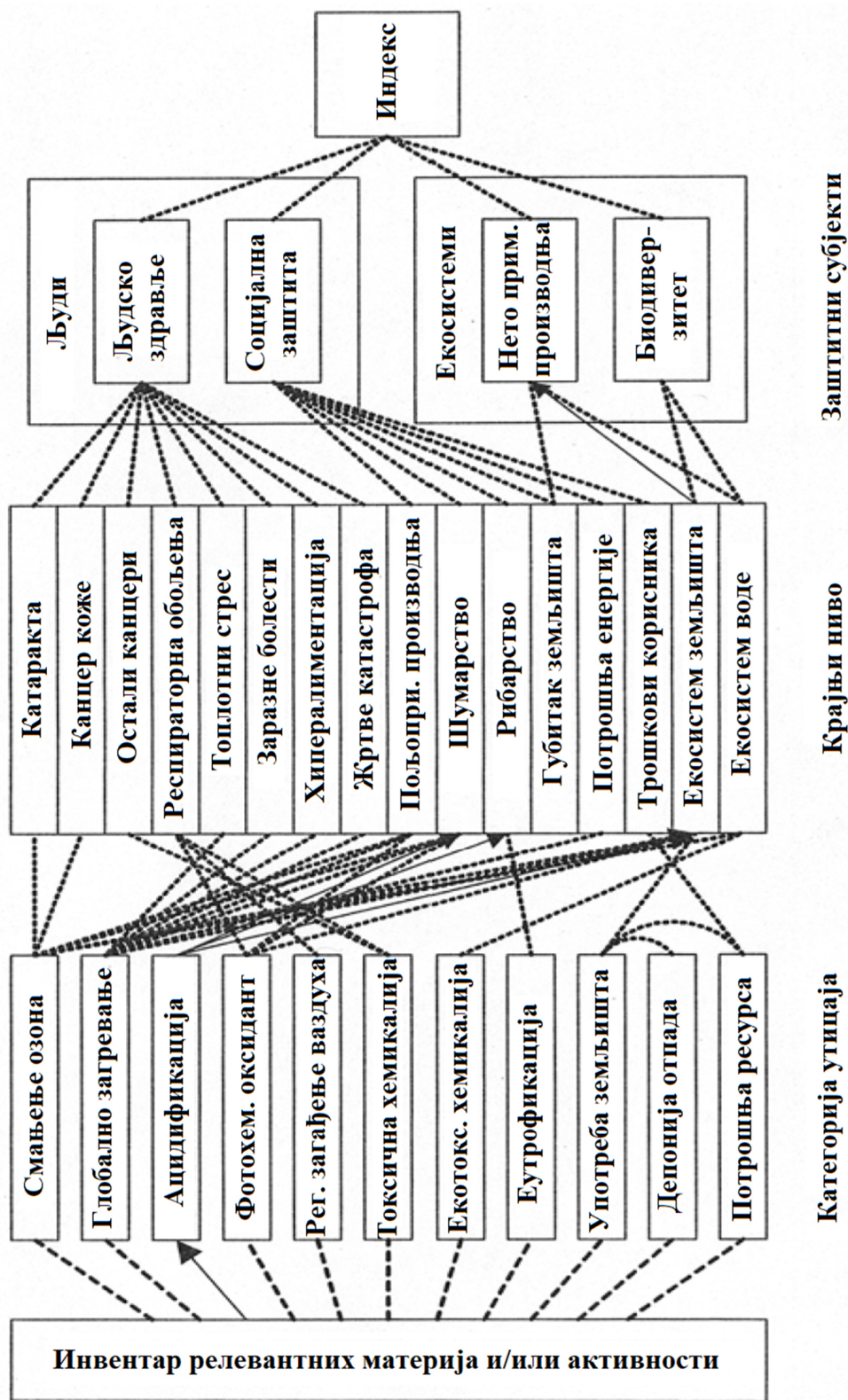
У корацима карактеризације и нормализације, 2000. година је изабрана за референтну годину, а информације су прикупљене на европском нивоу. Међутим, што се тиче фактора нормализације средњих нивоа, неке модификације примењене су у 2010. години [82-84]. Агрегација у овој методи врши се коришћењем панелног приступа. Регионална важност је за Европу, међутим, као и у случају других методологија, нека питања су од глобалног значаја, као што су климатске промене, оштећење озонског омотача и ресурси.

5.3.2. LIME

LIME је метода развијена у Јапану у оквиру националног пројекта LCA који финансира METI/NEDO [85-87]. Метода је развијена за квантификацију утицаја на животну средину који су изазвани инцидентним оптерећењем животне средине у Јапану. Ова методологија је развијена као комбинација две групе методологија (средњег и крајњег нивоа). Друга верзија ове методологије, LIME 2, представља методологију где се неизвесности свих фактора оштећења мере и узимају у обзир у циљу побољшања поузданости резултата [88, 89]. Ова методологија укључује следеће категорије утицаја средњег нивоа: оштећење озонског омотача, глобално загревање, формирање киселина, формирање фотохемијских оксиданата, регионално загађење ваздуха, токсична хемикалија по људе, екотоксична хемикалија, еутрофикација, загађење земљишта, депонија отпада, ресурси и потрошња. Разматрају се следеће категорије оштећења крајњег нивоа: катаракта, карцином коже, остали карциноми, респираторне болести, топлотни стрес, заразне болести, хипералиментација, жртве катастрофа, пољопривредна производња, шумарство, рибарство, губитак земљишта, потрошња енергије, трошкови корисника, екосистем земљишта, екосистем воде. Ове категорије оштећења крајњег нивоа груписане су у четири групе (подручја заштите): здравље људи, социјална брига, нето примарна производња и биолошка разноликост.

Фактори карактеризације заснивају се на јапанским профилима животне средине. Вредности нормализације израчунавају се сумирањем производа годишњих количина оптерећења животне средине и фактора оштећења који приказују потенцијално оштећење подручја заштите по јединици оптерећења животне средине на основу јапанских услова животне средине. Агрегација се врши помоћу метода монетаризације (спремност да се плати ради заштите околине).

Како се методологија развија за Јапан, то омогућава регионалну важност методологије за Јапан. Међутим, као и у случају других методологија, нека питања су од глобалног значаја, попут оштећења озонског омотача и глобалног загревања [90, 91].



Слика 8. Категорије утицаја и механизам LIME методологије [38, 87]

5.3.3. Impact 2002+

Impact 2002+ је методологија која комбинује две врсте утицаја (метода усмерена на средњи и крајњи ниво). Развили су је Швајцарски федерални технолошки институт [92] и Савезна политехничка школа у Лозани [93].

Прва верзија методологије звала се Impact 2002. Касније су уведене неке модификације које се односе на компаративни приступ неких категорија утицаја, као и на развијање европске и светске верзије профила животне средине за друге категорије [33, 94, 95].



Слика 9. Категорије утицаја и механизам Impact 2002+ методологије [38]

Методологија укључује следеће средње категорије утицаја: токсичност по људе, респираторни ефекти, јонизујуће зрачење, оштећење озона, фотохемијски оксиданти, екотоксичност воде, екотоксичност земљишта, еутрофикација воде, еутрофикација земљишта и формирање киселина, загађење земљишта, глобално загревање,

необновљива енергија и екстракција минерала. Кроз категорије средњег нивоа, резултати инвентара повезани су са четири категорије оштећења крајњег нивоа, које су у овом случају и заштитна подручја животне средине: здравље људи, квалитет еколошког система, климатске промене и ресурси.

Фактори карактеризације су прилагођени из других методологија као што су Impact 2002, Eco Indicator 99 и CML. Фактори нормализације заснивају се на европским просечним вредностима као годишњим резултатима утицаја на просечног становника. Не постоје одређене методологије агрегације за ову методологију. Међутим, у случају да је агрегација неопходна, пројектанти предлажу размотрање четири категорије оштећења (здравље људи, квалитет екосистема, климатске промене и ресурси). Једна од метода предложених за анализу различитих тежинских фактора је метода троугаоног мешања, која представља једноставан алат за подршку при одлучивању и користи се за разматрање о компромису између категорија утицаја. Ово илуструје питања евалуације, као што је агрегација различитих утицаја на животну средину приликом поређења система производа. Трокут за мешање може се користити само за упоређивање три категорије. Дакле, да би се могла применити ова метода агрегације, потребно је објединити две категорије оштећења (на пример: климатске промене и ресурси, због високе корелације у већини случајева).

Методологија има европску регионалну важност. Одређена питања су од глобалног значаја, попут оштећења озонског омотача и ресурса [38, 57, 96, 97].

5.3.4. LUCAS

LUCAS метода (метода LCIA која се користи у контекст који је специфичан за Канаду) је LCIA методологија коју је развио CIRAIG [98]. Слично методи RECIPE, Impact 2002+ и LIME, сматра се методом која комбинује обе врсте моделирања (средњег и крајњег нивоа). Разлог за развој ове методологије је тај што су LCA студије у канадској индустрији порасле. Ове студије су користиле широко познате методологије LCIA које се углавном заснивају на просечним вредностима за остале регионе осим Канаде (као што су просечне европске вредности). Како просторна диференцијација у LCA расте као тренд унапређења методологија LCIA, појавила се потреба за развојем методологије LCIA која је посебно карактеристична за канадску територију и довела је до развоја методологије LUCAS у 2005. години.

Утицаји средњег нивоа укључени овом методом су: климатске промене, оштећење озонског омотача, формирање киселина, фотохемијски смог, респираторни ефекти, еутрофикација воде, еутрофикација земљишта, екотоксичност, токсичност по људе, загађење земљишта и исцрпљивање абиотских ресурса. Као први корак, одабрани су само модели карактеризације средњег нивоа, категорије оштећења крајњег нивоа су у оквиру будућег развоја.

Фактори карактеризације су прилагођени из већ постојећих методологија као што су EDIP 2003, Impact 2002+ и TRACI. Неки од ових фактора уведени су без промене, а други

су просторно окарактерисани и диференцирани тако да одговарају канадској регији [38, 99]. Фактори нормализације одређују се односом утицаја по јединици емисије са укупним утицајем свих супстанци које доприносе одређеној категорији утицаја, по особи, годишње. Подаци који се користе за израчунавање фактора нормализације заснивају се на подацима за популацију и емисије које су доставили Завод за статистику Канаде (2004.) [100] и Агенција за заштиту животне средине Канаде (2002.) [101]. Агрегација се не користи у овој методологији.

Регионална важност односи се на Канаду, јер је методологија била просторно прилагођена Канади. Међутим, као и у случају других методологија, нека питања су од глобалног значаја, а не само од регионалног, као што су климатске промене, оштећење озонског омотача и ресурси.

5.4. Остале методологије засноване на LCA

5.4.1. MEEup

Методологију MEEup (Method for the Evaluation of Energy using Products - Метода процене енергије користећи производе) су развили VHK consultants у Холандији [102]. То је посебно оријентисана методологија која је успостављена за процену нивоа енергије користећи производе са критеријумима који их чине прихватљивим за спровођење мера у складу са Директивом 2005/32/ЕС о еко-дизајну енергије [57, 103, 104].

Покривене категорије утицаја су: Потрошња енергије, потрошња воде, материјали у употреби, отпад и инсинерација, стварање опасног отпада, емисије у ваздух и емисије у воду. Категорије утицаја су окарактерисане на основу релевантног ЕУ и међународног законодавства и споразума. Нормализација и агрегација нису наведене за ову методологију [38].

5.4.2. BEES

BEES (Building for Environmental and Economic Sustainability) је софтверски алат и методологија коју је развио Национални институт за стандарде и технологију [105]. За разлику од осталих методологија LCIA, овај алат се комбинује између Оцене утицаја животног циклуса (LCIA) и Трошкова животног циклуса (LCC - Life Cycle Costing).

У делу LCIA процењује се утицај испитиваног производа на животну средину. Примењене су следеће категорије утицаја су: глобално загревање, формирање киселина, еутрофикација, исцрпљивање фосилних горива, квалитет ваздуха у затвореном простору, измена станишта, потрошња воде, критеријум загађивачи ваздуха, смог, екотоксичност, оштећење озона и здравље људи.

Карактеризација и нормализација се примењују на основу просечних вредности у САД, тако да се унутар категорије утицаја свака мера перформанси производа нормализује дељењем са највишом мером те категорије. Агрегација се може обавити по већ

постојећим сетовима за агрегацију. Ови сетови за агрегацију развијени су на основу саветодавног студија Агенције за заштиту животне средине (ЕРА), студије универзитета на Харварду и скупа једнаких тежинских фактора.

У делу LCC-а, економски учинак мери се коришћењем стандардне методе Израчунавања животног циклуса развијене од стране Америчког удружења за испитивање и материјале [106]. Ова метода покрива трошкове почетног улагања, замене, рада, одржавања, поправки и одлагања. Резултати заштите животне средине и економског карактера комбинују се у свеукупну меру перформанси користећи стандард Америчког удружења за испитивање и материјале за вишеатрибутну анализу одлуке [107]. Ова свеобухватна мера представља релативну важност еколошке и економске перформансе. На пример, према потребној примени, резултати се могу подешавати тако да могу да буду 50/50 процената важности за еколошку/економску важност [108, 109].

5.4.3. Ecological footprints

Метода Ecological footprints се појавила као водећа светска метода која се односи на заштиту човечанства и природе. Први пут је представљена 1994. године као докторска дисертација Mathis-a Wackernagel-а под надзором William Rees [36, 110, 111]. За разлику од претходно споменутих метода процене које су усмерене на директне и индиректне улазне податке ресурса и утицаја емисија током целог животног циклуса производа, метода Ecological footprints сматра се алатом за интерпретацију специфичних ресурса животног циклуса производа. Ecological footprints мери количину биолошки продуктивног земљишта и морског подручја, који су потребни људима да би произвели ресурсе које троше и апсорбовали отпад који се ствара користећи одговарајуће технологије и управљање ресурсима. Ова мерења се затим упоређују са доступним земљиштем и морским простором. Ecological footprints се обично користи за процену људског притиска у географском контексту, на пример, на нивоу нација, региона или градова.

У анализи методологије разматра се пет врста директног загађења земљишта: оранице, пашњаци, шуме, изграђене површине и хидроенергетска подручја; и два индиректна загађења: фосилна горива и нуклеарна енергија. Свих ових седам фактора изражено је у глобалним хектарима (стандардизација заснована на продуктивности), који су нормализовани на стварне биолошки продуктивне хектаре доступне на земљи [112, 113].

5.4.4. USEtox

USEtox методологија је такође једна од врста LCIA јер се бави развојем модела карактеризације за људске и екотоксичне утицаје. USEtox је развила радна група за потребе екотоксичности и утицаја токсичности на људе у оквиру радног иницијативног пројекта SETAC/UNEP за животни циклус производа [46]. Један од циљева ове иницијативе је унапређење и успостављање препоручених методологија LCIA које су доступне широм света, затим развој смерница за различите категорије утицаја и развој

конзистентних скупова фактора карактеризације. У том контексту, закључено је да различите методологије LCIA немају исте карактеристике токсичности за материје, поред већ ограниченог броја обухваћених материја. Како су показатељи токсичности на људско здравље и квалитет екосистема неопходни за LCIA и упоредну процену и рангирање хемикалија према њиховим опасним карактеристикама, USEtox методологија је развијена да одговори на ове захтеве. Будући развој и активности модела USEtox укључују корисно програмирање модела карактеризације, развој USEtox-а за боље прилагођавање металима, потпуну документацију USEtox-а и укључивање моделирање екотоксичности земљишта и мора [114, 115].

5.4.5. EDP

EDP (Ecosystem Damage Potential - Потенцијал оштећења екосистема). Ову методологију је развио Швајцарски федерални технолошки институт у Цириху [92]. EDP је методологија LCIA која се такође бави специфичним категоријама утицаја на животни циклус. Спецификована је за развој општих фактора карактеризације за загађење земљишта, трансформацију земљишта и биодиверзитет. Главна предност ове специфичне методе LCIA је могућност да израчуна оштећење сложених трансформација земљишта, загађења земљишта и обнављања земљишта узимајући у обзир виртуелно или фактичко време обнављања земљишта. То значи да је штета од трансформације земљишта највећа од свих врста коришћења земљишта, које је тешко обновити и потребно му је изузетно дуго развијање (нпр. хиљаде година и више) [116, 117].

5.4.6. IPCC

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change - Међувладин панел за климатске промене) је водеће међународно тело за процену климатских промена. Основали су га Програм за заштиту животне средине Уједињених Нација [16] и Светска метеоролошка организација [118]. Ова метода преиспитује и оцењује најновије научне, техничке и социо-економске информације добијене широм света, а које су релевантне за разумевање климатских промена. IPCC методологија је први пут развијена 2001. године, а затим су урађене неке модификације фактора карактеризације, а друга верзија објављена је 2007. Она се сматра специфичном методологијом LCIA која се бави климатским променама и процењује њен утицај на различите екосистеме, ресурсе и аспекте људског здравља кроз развој модела карактеризације. Утицај климатских промена карактерише се у погледу потенцијала глобалног загревања у року од 20, 100 и 500 година. Процена будућих утицаја климатских промена захтева процене о томе како ће се развијати будући друштвено-економски и биофизички услови у складу са очекиваним климатским променама [97, 119, 120].

5.4.7. Cumulative Energy Demand

CED (Cumulative Energy Demand - Кумулативна потражња енергије) је методологија која се користи за квантификацију директне и индиректне употребе енергије у MJ током животног циклуса производа или процеса, укључујући енергију потрошену током експлоатације, производње и одлагања материјала. CED метода у свом контексту узима у обзир кумулативну потражњу енергије из фосилних ресурса, попут каменог угља, лигнита, тресета, природног гаса и сирове нафте, као и за нуклеарне и обновљиве ресурсе (биомаса, вода, ветар и соларна енергије). Представља потрошњу енергије, која се вреднује као примарна енергија током комплетног животног циклуса производа [121].

CED се користи као методологија за процену утицаја на животни циклус од раних седамдесетих година, али је често критикована јер се фокусира само на енергију. Међутим, сматра се важним енергетским параметром, јер обухвата све облике потрошње енергије током целог животног циклуса (обновљиви и необновљиви извори енергије).

Важност CED методе произлази из зависности утицаја животне средине на потражњу енергије током целог животног циклуса било ког система производа. На основу тога се предлаже да се CED може користити као показатељ утицаја на животну средину, посебно у случају система за производњу електричне енергије. Стога се CED може користити као комплементарно средство поред осталих LCIA методологија како би се студији пружиле прелиминарне информације о критичном делу у животном циклусу производа или процесу који троши више енергије [122-125].

5.4.8. Cumulative Exergy Demand

CExD (Cumulative Exergy Demand - Кумулативни потражња за ексергијом) је показатељ и специфична методологија LCIA која процењује квалитет енергетских ресурса. Квантификује корисни посао који се може обавити одређеном количином енергије. Прорачуни ексергије традиционално се примењују за процену енергетске ефикасности ресурса у погледу губитака услед оптерећења. Индикатор CExD уведен је ради процене укупног уклањања ексергије из природе због пружања производа или услуга.

Метода CExD је слична CED јер обе процењују потражњу енергије у животном циклусу. Међутим, CED се користи за процену потрошње енергије примарних енергетских ресурса, а квалитет енергије се не узима у обзир. Предност CExD-а је што разматра квалитет енергије јер процењује квалитет енергетских ресурса. Штавише, прорачуни CExD-а укључују потрошњу различитих енергетских ресурса (обновљиви и необновљиви), као и неенергетских ресурса (вода, минерали и метали). То чини CExD свеобухватнијим показатељем (индикатором) енергије од CED-а [126-128].

CExD се користи у истраживачким радовима у LCA за квантификацију потрошње ексергијских производа или процеса од „колевке до гроба“. Значај ове методе произлази из њене способности да анализира кумулативну потрошњу ексергијских ресурса, што укључује и меру квалитета ресурса. Стога се CED може користити као комплементарно средство поред осталих LCIA методологија [129-132].

5.4.9. Emergy Analysis

Емергија (Emergy) се дефинише као укупна количина једне врсте енергије која се директно или индиректно користи за производњу производа или услуге. Emergy Analysis (EA) је специфична методологија LCIA која се односи на енергетску анализу. За сваку врсту доступног енергетског ресурса постоји различита врста емергије. Као и енергија, емергија се мери у односу на референтни ниво. У већини примена мерења су изражена у јединицама соларне енергије [133, 134]. Главна разлика између Emergy Analysis и претходно споменутих енергетски оријентисаних метода (CED и CExD) је у томе што је EA мера стварног богатства на земљи у односу на енергију која је потребна да се нешто направи. Метода EA омогућава прорачун додатних токова који утичу на одрживост, као што су отпад, губитак земљишта, људски рад и употреба воде. Према томе се сва претходна расположива енергија која се користи за прављење нечега разматра у поступку прорачуна, што значи да EA представља енергетску меморију производа или процеса представљеног крајњим показатељима [135, 136].

5.4.10. Cumulative Exergy Consumption

CExC (Cumulative Exergy Consumption - Кумулативна потрошња ексергије). Метода CExC представља развијенији облик методе CExD. Овај облик методологије проширује анализу и укључује два облика анализе: Индустрijску кумулативну потрошњу ексергије (Industrial Cumulative Exergy Consumption - ICEC) и Еколошку кумулативну потрошњу ексергије (Ecological Cumulative Exergy consumption - ECEC). ICEC представља потрошњу енергије у индустријским системима у оквиру њиховог животног циклуса. Слично као код CExD, способност мерења корисног рада материјала и енергетских токова омогућава поређење између ресурса и обезбеђује информације о краткорочним оштећењима на локалном нивоу. ECEC квантификује последице и разматра дугорочна питања и допринос процеса екосистемима. Штавише, ECEC такође рачуна потрошњу ексергије (капиталну и ексергију током рада), губитке ексергије услед утицаја емисије и ексергију која се троше у екосистемима за производњу роба и услуга екосистема, који се троше у индустријским активностима [137].

5.4.11. CEENE

CEENE (Cumulative Exergy Extraction from the Natural Environment - Кумулативна екстракција ексергије из природног окружења) је методологија која је слична методологији CExD која је спецификована за анализу ексергије. CEENE метода је наставак методе CExD са одређеним разликама. CEENE је исто што и CExD у вредновању енергетских и неенергетских ресурса (вода, минерали и метали), али уз то, CEENE процењује и употребу земљишта. Штавише, CEENE проширује концепт, односно, CExD процењује ексергију која је одстрањена из природе и преноси је у технолошки систем, док CEENE рачуна укупну ексергију која је узета из природног система. Дакле, слично као CExD, CEENE је свеобухватан алат који се користи поред метода процене утицаја животног циклуса [138].

6. Софтверски алати у LCA

LCA је поступак за процену потрошње ресурса и оптерећења животне средине која су повезана са производом, процесом, амбалажом или активношћу. Процес LCA обухвата идентификацију и квантификацију потрошње енергије и материјала, као и ослобађања у животну средину у свим фазама животног циклуса. Такође, обухвата процену утицаја употребе енергије и материјала на животну средину и процену и примену могућности за побољшање ефекта на животну средину. [139]

Временом је LCA опште прихваћен као алат са широком применом коришћења, као што су етикетирање зарад заштите животне средине, унапређење животне средине, еко-дизајн и политика евалуације. Како се прихватање LCA повећавало, тако су се развили и софтверски алати и базе података за ефикасно коришћење LCA. Многи од ових софтверских алата и база података су доступни. Циљани корисници ових алата су стручњаци LCA или обични корисници.

Канадска влада омогућава доступност тачних, ажурних података за компоненту инвентара LCA креирањем Канадске базе података о материјалима (CRMD - Canadian Raw Materials Database) [140]. Подаци о животном циклусу се односе на шест примарних ресурса и доступни су произвођачима и другим корисницима за употребу у LCA и другим активностима спречавања загађења животне средине. Од пресудног значаја за употребу CRMD-a је доступност софтверских алата који могу прихватити податке и обрадити их на начин који је у складу са наменом и циљевима корисника.

У наставку је представљена објективна процена доступних софтверских алата LCA за потенцијалну употребу са CRMD-ом. Процена се састоји од две фазе: почетни преглед доступних софтверских алата и накнадна процена пет софтверских алата одабраних за детаљну процену на основу резултата иницијалне евалуације.

6.1. Почетна процена

6.1.1. Свеобухватна листа софтверских алата LCA

У Сједињеној Америчкој Држави и Европи идентификовано је 37 софтверских алата (и добављача), а свеобухватни списак представљен је у табели 5. За успостављање ове листе коришћени су различити извори информација. Објављена литература Друштва за подстицање развоја LCA (SPOLD - Society for the Promotion of LCA Development) и Atlantic Consulting-a, „LCA Sourcebook“ и „LCA-Software Buyers' Guide“, коришћена је за идентификацију опште познатих софтверских алата LCA. World Wide Web је коришћен за прикупљање ажурних информација о другим утврђеним софтверским алатима. 37 софтверских алата LCA наведених у табели 5 налазе се у различитим облицима развоја и употребе.

6.1.2. Почетни преглед софтвера и литературе

14 софтверских алата и произвођача означено је подебљаним словима у првој колони табеле 5. У прегледу је додата литература коју су доставили произвођачи или извори других произвођача.

Сваки од 14 софтверских пакета оцењен је користећи заједнички формат прегледа. У оквиру овог формата представљено је шест општих категорија информација. Ове категорије информација, идентификоване на слици 10, изабране су да представе опште информације које би се могле користити за процену способности сваког софтверског алата и за одабир алата који задовољавају корисничке циљеве и функције. Категорија „карактеристике“ садржи примарне резултате евалуације за сваки показни софтверски алат, а осталих пет категорија нуде документацију за подршку укључујући контакт информације и рачунарске захтеве.

Табела 5. Свеобухватна листа алата за процену животног циклуса [140]

Име	Произвођач	Локација података
1. Boustead	Boustead	Европа
2. CLEAN	EPRI	САД
3. CUMPAN	Univ. of Hohenheim	Немачка
4. EcoAssessor	PIRA	Велика Британија
5. EcoManager	Franklin Associates, Ltd	Европа/САД
6. ECONTROL	Oekoscience	Швајцарска
7. EcoPack2000	Max Bolliger	Швајцарска
8. EcoPro	EMPA	Швајцарска
9. EcoSys	Sandia/DOE	САД
10. EDIP	Inst. for Prod. Devel.	Данска
11. EMIS	Carbotech	Швајцарска
12. EPS	IVL	Шведска
13. GaBi	IPTS	Немачка
14. Heraklit	Fraunhofer Inst.	Немачка
15. IDEA	IIASA	Европа
16. KCL-ECO	Finnish Paper Inst.	Финска
17. LCA1	P&G/ETH	Европа
18. LCAD	Battelle/DOE	САД
19. LCAiT	Chalmers	Шведска
20. LCASys	Philips/ORIGIN	Холандија
21. LIMS	Chem Systems	САД
22. LMS Eco-Inv. Tool	Christoph Machner	Аустрија
23. Oeko-Base II	Peter Meier	Швајцарска
24. PEMS	PIRA	САД
25. PIA	BMI/TME	Европа
26. PIUSSOECOS	PSI AG	Немачка
27. PLA	Visionik ApS	Данска
28. REGIS	Simum Gmbh	Швајцарска
29. REPAQ	Franklin Associates, Ltd.	САД
30. SimaPro	PRe' Consulting	Холандија

31. SimaTool	Leiden Univ.	Холандија
32. Simbox	EAWAG	Швајцарска
33. TEAM	Ecobalance	Европа
34. TEMIS	Oko-Institute	Европа
35. TetraSolver	TetraPak	Европа
36. Umberto	IFEU	Немачка
37. Umcon	Particip Gmbh	Немачка

Софтвер • Име • Акроним Произвођач • Име компаније • Адреса • Контакт • Телефон и мејл Карактеристике • Верзија • Тип система • Подаци • Кориснички приступ • Методе прорачуна • Учинак	Рачунарство • Корисничка подршка • Оперативни систем • Софтверска платформа • Хардверски захтеви Комерцијалне спецификације • Цена и услови • Доступност Корисници и извештаји • Број корисника • Циљани тип корисника • Објављени извештаји/коментари
--	--

Слика 10. Категорије почетне процене [140]

6.1.3. Избор детаљне процене

Од 14 означених софтверских алата LCA изабрано је пет алата за детаљну процену користећи комплетне верзије софтвера. Изабрано је пет пакета: KCL-ECO, LCAiT, PEMS, SimaPro, и TEAM. Избор је заснован на бројним критеријумима, од којих су неки представљени у табели 6 и описани у наставку.

Табела 6. Основни критеријуми за избор одговарајућег софтверског алата [140]

Критеријум	Софтверски алати
Јако детаљан и репрезентативан инвентар животног циклуса	KCL-ECO и TEAM
Могућности и флексибилност процене утицаја	LCAiT и PEMS
Опсег употребе у индустрији	SimaPro

Један од фактора који је утицао на процес одабира алата био је разматрање крајњих корисника софтверског алата и циљева корисника. За многе кориснике високо детаљан и репрезентативан инвентар животног циклуса може пружити довољно флексибилности да буде користан. KCL-ECO и TEAM су изабрани на основу овог критеријума. Иако KCL-ECO (верзија 1.0) није имала могућност процене утицаја, већ верзија 2.0 је покрила тај недостатак. Софтвер детаљно представља информације о инвентару, прилагођава их корисницима и подржава извоз података у различите системе за управљање подацима. TEAM нуди сличан алат за управљање инвентаром који је много напреднији [140].

Флексибилност система, могућности процене утицаја и једноставна употреба представљају три додатна параметра који су резултирали избором још два софтверска алата: LCAiT и PEMS. Сваки систем поседује могућности процене утицаја, укључујући корисничке параметре и факторе агрегације.

Због једноставности употребе, изабран је SimaPro јер се већ користи као алат за управљање подацима у различитим комерцијално доступним базама података животног циклуса. IVAM и IDEMAT из Холандије и ETHZ из Немачке користе овај софтверски алат за управљање подацима. Поред тога, SimaPro је избор многих компанија као алат за анализу LCA и пројеката унапређења производа.

6.2. Детаљна процена

Детаљна процена пет софтверских алата за LCA почела је избором критеријума по којима ће се алати упоређивати. Да би се омогућио заједнички и систематски приступ процени, створени су општи системи животног циклуса који су развијени у сваком од пет софтверских алата LCA. Критеријуми, општи системи и истраживања описани су у наставку.

6.2.1. Критеријуми за детаљну анализу алата

Критеријуми разматрани у почетној процени представљају само неколико критеријума који су узети у обзир у детаљном вредновању одабраних софтверских алата LCA. Комплетну листу критеријума који се користе за процену ових софтверских алата одредио је Центар за „чисте“ производе и животну средину Канаде (Center for Clean Products and Environment Canada). Идентификовано је шест основних категорија

критеријума: рачунарски захтеви и приступ; дефинисање система; подаци и управљање подацима; флексибилност; прорачуни и поређења; и резултати и учинак. Ове опште категорије и пратећи критеријуми приказани су на слици 11.

Рачунарски захтеви и приступ • Хардверски захтеви • Софтверски захтеви • Приступ (нпр. графички)	Флексибилност • Флексибилност јединице • Употреба формула • Расподела
Дефинисање система • Развој система • Уређивање система • Архивирање	Прорачуни и поређења • Анализа осетљивости • Процена утицаја • Поређење резултата
Подаци и управљање подацима • Унети подаци • Показатељи квалитета података • Остала дескриптивна поља • Заштита података • Уређивање података • Кориснички дефинисани подаци	Резултати и учинак • Систем • Табеле и графикони • Опције приказа

Слика 11. Критеријуми за детаљну процену [140]

6.2.1.1. Рачунарски захтеви и приступ

Рачунарски захтеви су основни хардверски и софтверски захтеви за сваки од LCA софтверских алата. Захтеви за меморијом и минималним могућностима процесне јединице су основни захтеви хардвера. Захтеви за софтвером подразумевају оне апликације које су потребне за правилно функционисање софтверског алата. То може да укључује врсту платформе (Macintosh, Windows или DOS), као и пратеће апликације које нису испоручене помоћу LCA алата (нпр. апликације за прорачунске табеле, као што је Excel).

Приступ или интерфејс описује основне екране са којима корисник мора да комуницира током развоја и манипулације животним циклусом производа/процеса.

6.2.1.2. Дефинисање система

Дефинисање система укључује три критеријума за процену: развој система, уређивање система и архивирање.

Развој система описује како корисник може одредити кораке унутар производног процеса или фазе унутар животног циклуса производа/процеса да би се дефинисао

систем који се испитује. Ово укључује одређене протоке материјала, емисија и других оптерећења унутар сваког корака/фазе, као и транспортне и енергетске захтеве уграђене у систем. Различити начини на које сваки софтверски алат дефинише функционалне токове или функционалне јединице су такође укључени у ову категорију.

Уређивање система представља кратко објашњење могућности и ограничења за уређивање система док корисник развија нови или мења постојећи систем животног циклуса. Додавање или брисање корака/фаза, промена протока и манипулација развијеним системом у оквиру софтверског интерфејса разматрају се у овој категорији. Уређивање података обрађује се одвојено у категорији подаци и управљање подацима.

Архивирање као критеријум евалуације процењује способности сваког софтверског алата LCA да поново користи претходно дефинисане системе (или делове система) у новим проценама животног циклуса. Како се развија база система животног циклуса, корисник може сматрати потребним и погодним да поново користи све или неке сачуване информације. На пример, уопштена енергетска матрица или сценарио одлагања отпада могу се користити за многе системе животног циклуса.

6.2.1.3. Подаци и управљање подацима

Постоји низ питања која се тичу података животног циклуса, база података и могућности управљања подацима која морају бити решена приликом процене могућности сваког софтверског алата. Према критеријуму подаци и управљање подацима постоји шест области интересовања: унети подаци, показатељи квалитета података, остала дескриптивна поља, заштита података, уређивање података и кориснички дефинисани подаци.

Унети подаци описују типове података доступних у базама података које прате сваки софтверски алат. Делимична процена квалитета података је такође укључена у ову категорију.

У показатеље квалитета података укључени су разни начини на које корисник може одредити индикаторе квалитета података. Текстурална поља омогућавају кориснику да одреди извор података, датуме прикупљања података, географске регионе итд. Карактеристике су адресиране у оквиру овог критеријума. Квалитет унетих података се не оцењује у овој категорији. Остала дескриптивна текстурална поља, као што су наслов система, белешке о процесу итд., укључени су у категорији остала дескриптивна поља. Дескриптивна поља дефинисана од стране корисника, попут ових, су карактеристике које јачају процес оцењивања у животном циклусу, као и поједностављују интерпретацију резултата процене [140].

Заштита и уређивање података представљају различите начине на које се информације садржане у бази података (било уграђене или дефинисане од стране корисника) презентују кориснику, уопштено штите или штите од других корисника и доступне су за уређивање. Заштита података подразумева унуту заштиту података и заштиту података које дефинише корисник. Заштита унетих података може подразумевати потпуну

недоступност података, само приказ или могућности копирања/уређивања. Заштита унетих података може подразумевати употребу корисничких имена и лозинки, нивоа безбедносног одобрења итд. Заштита података дефинисана од стране корисника може, на пример, да садржи функције које нуде приступ подацима и могућности уређивања само кориснику који је креирао скуп података, као и различити нивои приступа слични онима који се односе на унуту заштиту података.

Кориснички дефинисани подаци описују поступак путем којег корисник може дефинисати податке за уношење у софтверске базе података. Могућности увоза података су укључене у ову карактеристику.

6.2.1.4. Флексибилност

Три одвојена критеријума идентификована су у поглављу флексибилности система: флексибилност јединице, употреба формула и расподела. Флексибилност јединице приказује да ли алат подржава кориснички дефинисане јединице и да ли корисник мора да претвори све уносе у конзистентне софтверско дефинисане јединице. Употреба формула пружа још један степен флексибилности. За одређивање материјалних токова, енергетских потреба и ослобађања у животну средину на основу променљивих које су дефинисане од стране корисника, може се захтевати кориснику да развије динамичнији систем. Расподела оптерећења међу копродуктима и/или отвореним токовима је питање које занима све кориснике LCA. Постоје различити начини на које се оптерећење додељује производу или услузи (нпр. тежински фактор, економска вредност итд.). Начин(и) на који сваки алат распоређује оптерећење размотрен је и процењен у овој подкатегорији.

6.2.1.5. Прорачуни и поређења

Анализа несигурности (поузданости), процена утицаја и поређење резултата представљају три могућности манипулације подацима које могу или не морају бити у функцији сваког софтверског алата LCA. Прорачуни и поређења, као критеријум за оцењивање, процењују сваки алат за ове могућности манипулације.

Са сваким малим уносом информација и података у LCA постоји одређени степен непоузданости. Способност софтверског алата LCA да управља овом несигурношћу може бити одлика важна за корисника. Због тога су у оквиру сваког софтверског алата оцењене и представљене у оквиру анализе несигурности различите методе за спровођење анализе поузданости, као што је анализа осетљивости.

Процена утицаја, како је дефинисано у „Процена утицаја животног циклуса - концептуални оквир, кључна питања и сажетак постојећих метода“ (ЕРА, јули 1995.), укључује класификацију, карактеризацију и агрегацију резултата инвентара животног циклуса. Флексибилност укључивања параметара који су дефинисани од стране корисника за ове и друге методе оцењивања је од примарног интереса за многе произвођаче LCA и кориснике софтверских алата LCA. Сваки алат је процењен за ове могућности, чији су резултати сумирани у оквиру процене утицаја.

Поређење резултата сажима способност сваког алата да упореди резултате (инвентара или процене утицаја) два или више система. На пример, поређење може бити два идентична система са различитим количинама рециклирања или уносом сировина. Поређење такође може бити између два потпуно различита и конкурентна производа/технологије за остварење исте функције [140].

6.2.1.6. Резултати и учинак

Резултати и учинак, категорија финалне процене, процењују различите начине на који се систем животног циклуса и израчунати резултати могу приказати, штампати, извозити и на други начин манипулисати.

Дијаграм тока или низ корака/фаза процењених у LCA представљају систем. Функције приказа и извоза овог система представљене су у оквиру система.

Табеле и графикони резимирају начине на које сваки софтвер представља информације о базама података и резултате анализе инвентара, процене утицаја и других прорачуна. Могућности за уређивање и кориснички дефинисани формати за таблице и графике су такође укључени у овај наслов.

Могућност коришћења информација креираних у LCA софтверском алату у другим рачунарским апликацијама за потребе извештаја, презентација, даљих манипулација итд. је још једна способност сваког софтверског алата која се процењује. Извозни капацитети као што су извоз података, извоз инвентара и извоз утицаја били су међу факторима који су обухваћени овим резимеом критеријума.

6.2.2. Поређење одабраних софтверских алата

Пет софтверских алата LCA одабраних за детаљну процену процењено је према сваком од горе наведених критеријума. Да би се извршила ова детаљна евалуација, развијена су четири једноставна, фиктивна система животног циклуса и анализирана са сваким од софтверских алата:

- линијска производња и употреба,
- израда, употреба и рециклирање у затвореном кругу,
- израда, употреба и рециклирање у отвореном кругу и
- израда са копродукцијом и употреба.

Пет оцењених софтверских алата имају много заједничких могућности. Међутим, постоји низ јединствених функција/могућности које се не налазе у сваком софтверском алату LCA. Сажето и упоредно вредновање ових јединствених софтверских карактеристика приказано је у табели 7. Кратак опис ових јединствених карактеристика представљен је у наставку [140].

Табела 7. Поређење одабраних функција софтверских алата [140]

	KCL-ECO	LCAiT	PEMS	SimaPro	TEAM
Графички интерфејс	•	•	•		•
Заштита података			•	•	•
Флексибилност јединице	•			•	•
Употреба формула	•				•
Анализа осетљивости	•		•		•
Процена утицаја		•	•	•	•
Поређење резултата			•	•	•
Графички приказ резултата		•	•	•	

6.3. KCL-ECO

Графички интерфејс KCL-ECO олакшава развој система. Уређивањем система, података и листа променљивих са било ког места у програму нуди се слобода развоја система онако како га корисник замисли. Поновна употреба архивираних система и подсистема један је од најједноставнијих процеса међу алатима за процену. Корисник може одредити променљиве система (улазе и излазе). Јединице су повезане са сваком променљивом и може их дефинисати корисник. Једном када је дефинисана, јединица конвенције мора се одржавати током целог LCA пројекта. Расподела међу копродуктима није функција алата. Сва расподела мора бити извршена пре него што се систем развије и одреде токови. Употреба променљивих и једначина омогућава проток и параметре који су дефинисани од стране корисника и нуди још један степен флексибилности приликом дефинисања система. Анализа осетљивости унутар програма један је од најсвестранијих алата који се процењују. Прилагођавање табела резултата подржано је на ограничен начин, а графички прикази нису опција коју даје софтвер.

Јединствене карактеристике које нуди KCL-ECO укључују следеће:

- приступ листи променљивих у било којој тачки програма омогућава кориснику да дефинише нове променљиве са било ког места у програму док се систем развија,
- описно поље које прати сваки процесни блок може се позвати на графички интерфејс и укључити се у таблицу резултата и
- излаз једног процесног блока не мора имати исто име као улаз у други процесни блок када је проток повезан између блокова.

Ограничења софтверског алата укључују немогућност упоређивања резултата и процене утицаја на перформансе и недостатак подршке за извоз резултата. Међутим, верзија 2 KCL-ECO исправља ове недостатке и поседује могућности процене утицаја, као и методе расподеле [140].

6.4. LCAiT

Развој система у оквиру LCAiT софтвера није тако једноставан као код других оцењених софтверских алата. Укључивање емисија, отпада и ресурса у детаље блока процеса тешко је склопити у концепт, иако се ресурси обично сматрају улазима, они су излази у LCAiT и не могу се користити у даљим системским јединицама или корацима. Везе између блокова не захтевају материјалне токове који су им додељени. Међутим, уређивање података и кориснички дефинисани подаци су једноставни и директни. Употреба дескриптивних текстуалних поља је обимна. Флексибилност јединице је типична за већину софтвера, а подаци се морају уносити у јединице које су дефинисане системом. Расподела није подржана софтверским алатом, па корисник мора доделити сва оптерећења пре уноса података у систем. Недостатак анализа осетљивости и упоређивања резултата ограничава примену овог алата као алата за управљање. Међутим, могућности процене утицаја су добре. У оквиру корисничког интерфејса подржани су само графички резултати и могућности извоза у табеларном облику. Опис различитих боја које се користе у графичком приказу резултата није доступан.

Јединствене карактеристике LCAiT укључују следеће:

- лакоћу уноса података који је дефинисан од стране корисника помоћу софтверских шаблона и
- способност увоза целог система животног циклуса у процесни блок новог система, омогућавајући веома детаљним и сложеним системима да се поједноставе.

Ограничење софтверског алата се огледа у томе што се само четири материјална тока могу доделити свакој страни процесног блока, ограничавајући сложеност развијеног система [140].

6.5. PEMS

Графички интерфејс PEMS-а чини развој система интуитивно врло једноставним. Улази и излази се састављају и израчунава се стање масе за сваки процесни блок и извештава се корисник на свакој картици својства. Материјални токови и транспорт представљени су стрелицама између блокова. Обимна дескриптивна поља омогућавају кориснику детаљне информације за све процесне блокове и систем у целини. Међутим, податке које је корисник развио тешко је уносити у формат базе података, а архивирање система за поновну употребу је заморно. Флексибилност јединице и могућности расподеле алата су типичне за већину софтвера, а подаци се морају унети у јединице које су дефинисане системом, а распоред се врши према тежини. Приручник нуди веома детаљно објашњење других метода расподеле, али алат не подржава те методе. Коначно, систем добро подржава манипулацију и представљање података. Анализа осетљивости, процена утицаја и поређење резултата лако су разумни и прилагођени. Табеле и графикони могу се лако прилагодити, а извоз за друге примене је добро подржан.

Јединствене карактеристике PEMS-а укључују следеће:

- корисник се обавештава (упозорава) ако проток представља мање од једног процента,
- многоструке могућности превоза могу се дефинисати за један ток омогућајући одабир комбинација градског, сеоског и магистралног пута; укључивање фактора „услужни програм“ омогућава кориснику да представља повратна путовања и
- PIRA (произвођач PEMS-а) нуди чланство у PEMS-овом корисничком клубу; као чланови PEMS-а корисници имају прилику да разговарају и учествују у даљем развоју LCA и LCA стандарда, као и у развоју будућих PEMS верзија.

Ограничење PEMS-а током процеса процене било је недостатак верзије Excel-а за време извршавања. Грешка софтвера настајале су када се користила Excel апликација изнад верзије 5. Ова зависност од Excel-а је елиминисана у наредној верзији PEMS-а [140].

6.6. SimaPro

SimaPro има функције које омогућавају његову широку употребу за развој производа и алата за управљање LCA. Иако не садржи графички интерфејс за развој система, SimaPro је врло једноставан за употребу и флексибилан. Приступ и неограничено уређивање датотека из базе података је карактеристика која нуди флексибилност и лакоћу. Поред заштите података, све могућности за управљање подацима су одличне и једноставне за руковање. Уграђени подаци су опсежни и добро документовани. Адекватна дескриптивна поља нуде се за сваки унос у базу података, а кориснички дефинисани подаци лако се уносе кроз шаблоне које нуди софтверски програм. Различите могућности процене утицаја (нпр. лако доступне вредности индикатора, карактеризација/нормализација/агрегација и скале „термометра“) доступне су у сваком тренутку док сте у програму. Резултати приказани у графичком формату су подржани, али табеле нису.

Јединствене карактеристике SimaPro укључују следеће:

- могућност повезивања уноса у базу података,
- приступ нумеричким и визуелним индикацијама утицаја за сваку фазу, монтажу, поступак и материјал у систему животног циклуса и
- доступна је верзија за SimaPro за више корисника (по нижим трошковима у образовне сврхе) која нуди јединствене функције као што су заштита података и умрежавање.

Ограничења SimaPro-а укључују недостатак графичког интерфејса, анализу осетљивости и евентуално DOS интерфејс [140].

6.7. TEAM

TEAM је најспособнији и најфлексибилнији алат од претходно оцењених. Због тога је његове карактеристике и могућности најтеже потпуно разумети и искористити. Одабир и дефинисање улаза и излаза унутар најнижег нивоа процеса или јединице прилично је

једноставно помоћу алатне траке, а токови се могу дефинисати вредностима и једначинама. Флексибилност јединице је слична KCL-ECO, јединице су повезане са сваком променљивом (тј., у TEAM-у се назива „члан“) и корисник их може дефинисати. Једном када је дефинисана, ова јединица конвенције мора се одржавати током целог LCA пројекта. Употреба формула за одређивање метода расподеле за сваку процесну јединицу је јединствена карактеристика TEAM-а. На свим нивоима процеса могућности чекирања и компилације омогућавају кориснику да осигура доследност и интегритет система чак и пре него што је систем у потпуности дефинисан. Израчунавање LCA инвентара с било којег места унутар система је још једна флексибилна карактеристика TEAM-а. Табеларни резултати су типични за остале софтверске алате који се процењују, уз подржане могућности прилагођавања и извоза. Графички приказ резултата није подржан.

Јединствене карактеристике TEAM-а укључују следеће:

- способност ширења израчунатих залиха са било којег места у систему;
- способност дефинисања правила расподеле у оквиру најнижег нивоа процеса/јединице за било који ток и
- разне заштите података и нивоа приступа подацима омогућавају једноставно одржавање интегритета података.

Ограничења TEAM-а укључују недостатак подршке корисничким дефинисаним факторима агрегације за процену утицаја и ограничену могућности упоређивања резултата. Засебну и неприступачну базу података многи могу видети као још једно ограничење TEAM-а. Нова верзија TEAM-а ће подржати корисничке факторе агрегације, као и базу података која је директно повезана са LCA алатом [140].

7. Закључак

У овом раду приказани су концепт и оквир анализе животног циклуса. LCA следи организоване кораке ради постизања жељеног циља који се утврђује на почетку проученог пројекта. Генерално, LCA се може користити у различите сврхе у различитим применама. LCA се може користити у сврху развоја производа, побољшања производа, еко-означавања и декларације о еколошким производима. Те сврхе се могу применити у различитим областима, као што су: грађевински сектор, индустријски сектор, пољопривреда, хемија итд.

Витални корак у спровођењу LCA представља LCIA. Свеобухватност овог корака представљена је трансформацијом LCI листе у смислене категорије утицаја помоћу сложених еколошких модела. Постоје многе методологије за спровођење LCIA како би се проценио утицај система производа на једноставнији начин који је лако разумети и показати. Методологије су различите у одређеним аспектима, као што су број обухваћених категорија утицаја, број обухваћених материја, модели окружења развијени за фазу карактеризације и коришћени фактори нормализације и агрегације. Главна разлика између LCIA методологија која их значајно разликује је приступ моделирању материје унутар придружене базе података у оквиру сваке методологије, а то су модели приступа средњем и крајњем нивоу. Поред ова два приступа постоји и комбиновани приступ који комбинацијом оба приступа може користи предности сваког од њих. У овом раду је приказана и друга врста методологија која се бави специфичним категоријама утицаја (методологије LCIA са посебном наменом).

Може се сматрати да многи софтверски алати LCA поседују одређени квалитет. Они су често развијени за специфичну примену LCA, али су затим побољшани за шири обим употребе. Понекад је софтвер углавном дизајниран за широк опсег, па није могуће користити овај опсег због нпр. неадекватне методе прорачуна или неприкладне структуре. Дакле, није довољно да се појединачне функције имплементирају у LCA алат, већ се цео пакет функција мора уклопити у квалитетан софтверски алат. Основни захтеви морају бити испуњени софтвером како би били погодни широкој примени.

Важно је да се софтверски алат за потребе LCA континуирано побољшава и надограђује новим развојима на пољу LCA. Можда чак могу дати подстицај за нова дешавања јер се већина процена животног циклуса израчунава помоћу софтверског алата LCA.

8. Литература

- [1] N. Huberman, D. Pearlmutter, *A life-cycle energy analysis of building materials in the Negev desert*, Energy and Buildings 40 837–848, 2008.
- [2] European Commission, *Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings*, 2002.
- [3] Life Cycle Assessment (LCA), *A guide to approaches, experiences and information sources*, EEA (European Environmental Agency), Denmark, ISBN: 92-9167-079-0, 1998.
- [4] European Commission, Joint Research Centre, Brussels, Belgium. <http://ec.europa.eu/dgs/jrc/index.cfm>, (приступљено 15.8.2019.)
- [5] The Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC), <http://www.setac.org/>, (приступљено 15.8.2019.)
- [6] ISO International Standard 14040:2006, *Environmental Management – Life cycle assessment*, Principles and framework, International Organisation for Standardisation (ISO), 2006.
- [7] Karim Ali Ibrahim Menoufi, *Life Cycle Analysis and Life Cycle Impact Assessment methodologies: A state of the art*, Màster en Ciències Aplicades a l'Enginyeria, Universitat de Lleida, Escola Politècnica Superior, 2011.
- [8] CASCADE Project, Co-operation and Standards for life Cycle Assessment Data in Europe, <http://www.pdt.enea.it/>, (приступљено 15.8.2019.)
- [9] M.A.Curran, *Environmental Life-Cycle Assessment*, McGraw-Hill, USA, ISBN 978-0070150638, 1996.
- [10] The Coca-Cola company, <http://www.thecoca-colacompany.com/>, (приступљено 15.8.2019.)
- [11] R. Hunt and W.E. Franklin, *LCA - How it Came About-Personal Reflections on the Origin and the Development of LCA in the US*, The International Journal of Life Cycle Assessment 1 (1) 4-7, 1996.
- [12] I. Boustead and G.F. Hancock, *Handbook of Industrial Energy Analysis*, EllisHorwood, Chichester/John Wiley, USA, ISBN 0-85312-064-1, 1979.
- [13] ISO International Standard 14041:1998, *Environmental Management – Life cycle assessment. Goal and scope definition and Inventory analysis*, International Organisation for Standardisation (ISO), 1998.
- [14] ISO International Standard 14042:2000, *Environmental Management – Life cycle assessment. Life cycle Impact assessment*, International Organisation for Standardisation (ISO), 2000.

- [15] ISO International Standard 14043:2000, *Environmental Management – Life cycle assessment. Life cycle Interpretation*, International Organisation for Standardisation (ISO), 2000.
- [16] The United Nations Environmental Program, <http://www.unep.org/>. (приступљено 16.8.2019.)
- [17] M.A. Curran, *Life Cycle Assessment: principles and practice*, Environmental Protection Agency (EPA), USA, EPA/600/R-06/060, 2006.
- [18] Volvo group, <http://www.volvogroup.com>, (приступљено 16.8.2019.)
- [19] G.K.C. Ding, *Sustainable construction - the role of environmental assessment tools*, Journal of Environmental Management 86 451–464, 2008.
- [20] A.M. Tillman, *Significance of decision-making for LCA methodology*, Environmental Impact Assessment Review 20 113–123, 2000.
- [21] I. Zabalza, A. Aranda, S. Scarpellini, *Life cycle assessment in buildings: State-of-the-art and simplified LCA methodology as a complement for building certification*, Building and Environment 44 2510-2520, 2009.
- [22] H. Lewis and J.Gertsakis, *Design + Environment, a global guide to designing greener goods*, Sheffield UK: green leaf publishing, UK, ISBN 1874719438, 2011.
- [23] European Commission, *Regulation (EC) No 66/2010 of the European Parliament and of the council of 25 November 2009 on the EU Eco labels*, 2009.
- [24] ISO 14024:1999 - *Environmental labels and declarations - Type I environmental labelling - Principles and procedures*, 1999.
- [25] ISO 14025:2006 - *Environmental labels and declarations - Type III environmental declarations – Principles and procedures*, International Organisation for Standardisation (ISO), 2006.
- [26] European Commission, *Summary of discussions at the 2nd integrated product policy expert workshop, environmental product declarations (ISO 14025)*, Brussels, 2001.
- [27]
- [28] G. Finnveden, M.Z. Hauschild, T. Ekvall, J. Guine, R. Heijungs, S. Hellweg, A. Koehler, D. Pennington, S. Suh, *Recent developments in Life Cycle Assessment*, Journal of Environmental Management 91 1–21, 2009.
- [29] D.W. Pennington, J. Potting, G. Finnveden, E. Lindeijer, O. Jolliet, T. Rydberg, G. Rebitzer, *Life cycle assessment Part 2: Current impact assessment practice*, Environment International 30 721– 739, 2004.
- [30] ENLSIC Buildings, Energy Saving through Promotion of Life Cycle Assessment in Buildings, <http://circe.cps.unizar.es/enslic/texto/home.html>, (приступљено 21.8.2019.)

- [31] E. Lindeijer, *Normalisation and Valuation, Part VI of the SETAC Working Group Report on LCA Impact Assessment*, IVAM Environmental Research, University of Amsterdam, The Netherlands, 1997.
- [32] G. Finnveden, *Valuation methods within LCA - where are the values?* The International Journal of Life Cycle Assessment 2 (3) 163-169, 1997.
- [33] O. Jolliet, I. Zabalza, A. Aranda, S. Scarpellini, M. Margni, R. Charles, S. Humbert, J. Payet, G. Rebitzer, R. Rosenbaum, *IMPACT 2002+: A New Life Cycle Impact Assessment Methodology*, The International Journal of Life Cycle Assessment 8 (6) 324-330, 2003.
- [34] M. Gernuks, J. Buchgeister, L. Schebek, *Assessment of environmental aspects and determination of environmental targets within environmental management systems (EMS) - development of a procedure for Volkswagen*, Journal of Cleaner Production 15 1063-1075, 2007.
- [35] The Life Cycle Initiative, International Life Cycle Partnership for a sustainable world, <http://lcinitiative.unep.fr/>, (приступљено 22.8.2019.)
- [36] Johannesburg Summit 2002, The World Summit on Sustainable Development, <http://www.johannesburgsummit.org/>, (приступљено 21.8.2019.)
- [37] O. Jolliet, R. Müller-Wenk, J. Bare, A. Brent, M. Goedkoop, R. Heijungs, N. Itsubo, C. Pefia, D. Pennington, J. Potting, G. Rebitzer, M. Stewart, H. Udo de Haes, B. Weidema, *The LCIA Midpoint-damage Framework of the UNEP/SETAC Life Cycle Initiative*, The International Journal of Life Cycle Assessment 9 (6) 394-404, 2004.
- [38] ILCD handbook: *Analysing of existing Environmental Impact Assessment methodologies for use in Life Cycle Assessment, first edition*, Institute for Environment and Sustainability, Joint research centre, European Commission, 2010.
- [39] GaBi Software, www.gabi-software.com, (приступљено 22.8.2019.)
- [40] SimaPro, <http://www.pre.nl/content/simapro-lca-software>, (приступљено 22.8.2019.)
- [41] GEMIS, www.oeko.de/service/gemis/en/, (приступљено 22.8.2019.)
- [42] BEES, <http://www.nist.gov/el/economics/BEESSoftware.cfm>, (приступљено 22.8.2019.)
- [43] B.H. Gebreslassie, G. Guillén-Gosálbez, L. Jiménez, D. Boera, *Design of environmentally conscious absorption cooling systems via multi-objective optimization and life cycle assessment*, Applied Energy 86 1712–1722, 2009.
- [44] A. de Gracia, L. Rincón, A. Castell, M. Jiménez, D. Boer, M. Medrano, L.F. Cabeza, *Life Cycle Assessment of the inclusion of phase change materials (PCM) in experimental buildings*, Energy and Buildings 42 1517–1523, 2010.
- [45] University of Leiden, Institute of environmental sciences (CML), www.cml.leiden.edu, (приступљено 4.9.2019.)

- [46] Gorrée, M. Heijungs, R. Huppes, G. Kleijn, R. Koning, A. de Oers, L. van Wegener Sleeswijk, A. Suh, S. Udo de Haes, H.A. Bruijn, H. de Duin, R. van Huijbregts, *M.A.J. Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards. I: LCA in perspective. Ila: Guide. Iib: Operational annex. III: Scientific background.* Kluwer Academic Publishers, ISBN 1-4020-0228-9, Dordrecht, 2002.
- [47] Institute for Product development at the Danish Technical University, <http://www.dtu.dk>, (приступљено 5.9.2019.)
- [48] Background for spatial differentiation in life cycle impact assessment: *The EDIP2003 methodology*, Environmental Protection Agency (EPA), USA, 1994.
- [49] Spatial differentiation in life cycle impact assessment (J. Potting, M. Hauschild), *The EDIP2003 methodology*, Environmental Protection Agency (EPA), USA, 2005.
- [50] S. Bellekom, J. Potting, R. Benders, *Feasibility of applying site-dependent impact assessment of acidification in LCA*, The International Journal of Life Cycle Assessment 11 (6) 417–424, 2006.
- [51] US Environmental Protection Agency (EPA), www.epa.gov, (приступљено 5.9.2019.)
- [52] Risk Assessment Guidance for Superfund, Volume I, *Human Health Evaluation Manual, Office of Emergency and Remedial Response*, Environmental Protection Agency, USA, EPA/540/1-89/002, 1989.
- [53] National Center for Environmental Assessment, Office of Research and Development, *Exposure Factors Handbook*, Environmental protection agency (EPA), USA, 1997.
- [54] J.C. Bare, G.A. Norris, D.W. Pennington, T. McKone, *TRACI, the Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and Other Environmental Impacts*, Journal of Industrial Ecology, Volume 6, Number 3–4, 49–77, 2003.
- [55] G.A. Norris, *Impact Characterization in the Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and Other Environmental Impacts*, Journal of Industrial Ecology, 6 79–101, 2002.
- [56] J. bare, T. Gloria, G. Norris, *Development of the Method and U.S. Normalization Database for Life Cycle Impact Assessment and Sustainability Metrics*, Journal of Environmental Science and Technology 40 5108-5115, 2006.
- [57] PRé Consultants (Product Ecology consultants), <http://www.pre.nl>, (приступљено 11.9.2019.)
- [58] Philips consumer electronics www.consumer.philips.com, (приступљено 11.9.2019.)
- [59] NedCar (Volvo/Mitshubishi), www.nedcar.nl, (приступљено 11.9.2019.)
- [60] Océ Copiers, www.oce.com, (приступљено 11.9.2019.)
- [61] Schuurink, <http://www.schuurink.com/>, (приступљено 11.9.2019.)
- [62] Delft University of Technology, <http://www.tudelft.nl/>, (приступљено 11.9.2019.)
- [63] CE delft, <http://www.cedelft.eu/>, (приступљено 11.9.2019.)

- [64] Eco-indicator 99, Manual for designers, *damage oriented method for life cycle impact assessment*, Ministry of Housing, Spatial planning and the Environment, The Netherlands, 2000.
- [65] M. Goedkoop, R. Spriensma, *Eco-indicator 99, a damage oriented method for life cycle impact assessment, methodology report*, Third edition, Ministry of Housing, Spatial planning and the Environment, The Netherlands, 2001.
- [66] The Swedish environmental research institute, www.ivl.se, (приступљено 17.9.2019.)
- [67] Confederation of Swedish Enterprise (www.svensktnaringsliv.se), (приступљено 17.9.2019.)
- [68] EPS methodology (Environmental Priority Strategies in product design), <http://eps.esa.chalmers.se>, (приступљено 17.9.2019.)
- [69] B. Steen, *A systematic approach to environmental priority strategies in product development (EPS)*, Version 2000 – General system characteristics, CPM report 1999.
- [70] R. Frischknecht, R. Steiner, B. Arthur, E. Norbert, H., *Gabi*, Swiss Ecological Scarcity Method: The New Version, The International Conference on EcoBalance, Tsukuba, Japan, November, 2006.
- [71] G. Brand, A. Scheidegger, O. Schwank, A. Braunschweig, *Weighting in Eco balances using the Eco scarcity methods-Eco factors*, Environment series No.297, The Swiss Federal Agency for the Environment, Forests and Landscape (SAEFL), Switzerland, 1997.
- [72] H. Althaus, C. Bauer, G.Doka, R. Dones, R. Frischknecht, S. Hellweg, S. Humbert, N. Jungbluth, T. Köllner, Y. Loerincik, M. Margni, T. Nemecek, *Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods*,ecoinvent report No. 3., Swiss center for life cycle inventories, Switzerland, 2010.
- [73] R. Frischknecht, R. Steiner, N. Jungbluth, *The Ecological Scarcity method, a method for impact assessment in LCA*, Federal Office for the Environment (FOEN), Switzerland, 2006.
- [74] The Japanese Environmental Ministry (MoE), www.env.go.jp, (приступљено 17.9.2019.)
- [75] The Ministry for Economy Trade and Industry (METI), Japan, www.meti.go.jp, (приступљено 17.9.2019.)
- [76] The Ministry for Education and Technology (MEXT), Japan, www.mext.go.jp, (приступљено 17.9.2019.)
- [77] The JEPIX method (Japan Environmental Policy Priorities Index), www.jepix.org, (приступљено 17.9.2019.)
- [78] C. Patrick, S. Kumagai, E. Shinozuka, *Development of Eco Scarcity Japanese Version, The Fifth International Conference on Ecobalance*, Tsukuba, Japan, 2002.
- [79] Miyazaki N., Siegenthaler C., Schoenbaum T. and Azuma K., *Japan Environmental Policy Priorities Index (JEPIX) - Calculation of Ecofactors for Japan: Method for Environmental*

Accounting based on the EcoScarcity Principle, International Christian University Social Science Research Institute, Monograph Series No. 7, Tokyo, 2004.

[80] RIVM (National institute for public health and the environment), The Netherlands, www.rivm.nl, (приступљено 18.9.2019.)

[81] Radboud University Nijmegen, <http://www.ru.nl/>, (приступљено 18.9.2019.)

[82] The ReCiPe methodology, <http://www.lcia-recipe.net/>, (приступљено 18.9.2019.)

[83] M. Goedkoop, R. Heijungs, M. Huijbregts, A. De Schryver, J. Struijs, R. van Zelm, *ReCiPe - A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level: First edition, Report I: Characterisation*, Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment (VROM), The Netherlands, 2009.

[84] A.W. Sleeswijka, L.F. van Oers, J.B. Guinée, J. Struijs, M.A.J. Huijbregts, *Normalisation in product life cycle assessment: An LCA of the global and European economic systems in the year 2000*, Science of the total environment 390 227 – 240, 2008.

[85] METI: Ministry of economy, trade and industry, Japan, <http://www.meti.go.jp>, (приступљено 18.9.2019.)

[86] NEDO, Global environmental technology development, Japan, www.nedo.go.jp, (приступљено 18.9.2019.)

[87] K. Hayashi, M.I. Okazaki, N. Itsubo, A. Inaba, *Development of damage function of acidification for terrestrial ecosystems based on the effect of Aluminium toxicity on net primary production*, The International Journal of Life Cycle Assessment, 9 (1) 13 - 22, 2004.

[88] JEMAI (Japan environmental management association for industry), <http://www.jemai.or.jp/english/lca/project.cfm>, (приступљено 18.9.2019.)

[89] K. Nakano, C. Nakaniwa, T. Kabeya, T. Iguchi, R. Aoki, *Current activities of the Life Cycle Assessment society of Japan*, The International Journal of Life Cycle Assessment, 12 (7) 546, 2007.

[90] N. Itsubo, M. Sakagami, T. Washida, K.O. Kokubu, A. Inaba, *Weighting across safeguard subjects for LCIA through the application of conjoint analysis*, The International Journal of Life Cycle Assessment 9 (3) 196 - 205, 2004.

[91] N. Itsubo and A. Inaba, *A New LCIA Method: LIME has been completed*, The International Journal of Life Cycle Assessment 8 (5) 305, 2003.

[92] The Swiss Federal Institute of Technology, (приступљено 20.9.2019.)

[93] The federal polytechnic school of Lausanne, www.epfl.ch, (приступљено 20.9.2019.)

[94] University of Michigan, Risk Science Centre, www.sph.umich.edu/riskcenter/, (приступљено 20.9.2019.)

- [95] D. Rochat, M. Margni, O. Jolliet, *Continent-specific Intake Fractions and Characterization Factors for Toxic Emissions: Does it make a Difference?*, The International Journal of Life Cycle Assessment 11, Special Issue 1 55 – 63, 2006.
- [96] S. Humbert, M. Margni, O. Jolliet, *A user guide for the New Life Cycle Impact Assessment Methodology IMPACT 2002+*, (for v2.1), 2005.
- [97] M. Goedkoop, M. Oele, A. de Schryver, M. Vieira, *SimaPro Database Manual, Methods library*, v2.2, PRé Consultants, the Netherlands, 2008.
- [98] CIRAIG – Interuniversity Reference Center for the Life Cycle Assessment, Interpretation and Management of Products, Processes and Services, École Polytechnique de Montréal, Montreal, Quebec, Canada, <http://www.ciraig.org>, (приступљено 21.9.2019.)
- [99] L. Toffoletto, C. Bulle, J. Godin, C. Reid, L. Deschênes, *LUCAS – A New LCIA Method Used for a Canadian-Specific Context*, The International Journal of Life Cycle Assessment 12 (2) 93 – 102, 2007.
- [100] Statistics Canada: Canada national statistical agency, www.statcan.gc.ca, (приступљено 21.9.2019.)
- [101] Environment Canada, www.ec.gc.ca, (приступљено 21.9.2019.)
- [102] VHK consultants, Netherlands, (www.vhk.nl), (приступљено 21.9.2019.)
- [103] The European Parliament and The Council of The European Union, *Directive 2005/32/EC of the European parliament and of the council*, Official Journal of the European Union, 2005.
- [104] European Commission, *Methodology study Eco design of energy using products*, MEEup methodology report, 2005.
- [105] The National Institute of Standards and Technology, www.nist.gov, (приступљено 24.9.2019.)
- [106] American Society for Testing and Materials, (ASTM), *Standard practice for measuring Life Cycle Costs of buildings and building systems*, ASTM designation E 917-93, USA, 1993.
- [107] American Society for Testing and Materials (ATSM), *Standard practice for applying the analytic hierarchy Process to Multi Attribute Decision Analysis (MADA) of investments related to buildings and building systems*, ASTM designation E 1765-95, USA, 1995.
- [108] B.C. Lippiatt, *The BEES model for selecting environmentally and economically balanced building products, proceedings of the conference of Environmental and Economic balance*, The 21st Century Outlook, November 6-9, USA, 1997.
- [109] CIB WorldBuilding Congress, *Building for Environmental and Economic Sustainability (BEES)*, Construction and the environment, Gavle, Sweden, 1998.
- [110] W.E. Rees, *Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out*, Environment and Urbanization vol.4 no.2 121–130, 1992.

- [111] M. Wackernagel, *Ecological Footprint and Appropriated Carrying Capacity: A Tool for Planning Toward Sustainability*, (PhD thesis), The University of British Columbia, Canada, OCLC 41839429, 1994.
- [112] Ecological footprints standards 2009, Global footprint network standards committee, www.footprintstandards.org, (приступљено 25.9.2019.)
- [113] M.A.J. Huijbregts, S. Hellweg, R. Frischknecht, K. Hungerbühler, A. Jan Hendriks, *Ecological footprint accounting in the life cycle assessment of products*, *Ecological Economics* 64 798 – 807, 2008.
- [114] M.Z. Hauschild, M. Huijbregts, O. Jolliet, M. Macleod, M. Margin, D. Van De Meent, R.K. Rosenbaum, T.E. McKone, *Building a Model Based on Scientific Consensus for Life Cycle Impact Assessment of Chemicals*, *The Search for Harmony and Parsimony*, *Environmental Science and Technology*, 42, 7032– 7037, 2008.
- [115] R.K. Rosenbaum, T.M. Bachmann, L.S. Gold, M.A.J. Huijbregts, O. Jolliet, R. Juraske, A. Koehler, H.F. Larsen, M.M. Manuele Margni, T.E. McKone, J. Payet, M. Schuhmacher, D. van de Meent, M.Z. Hauschild, *USEtox—the UNEP-SETAC toxicity model: recommended characterisation factors for human toxicity and freshwater ecotoxicity in life cycle impact assessment*, *The International Journal of Life Cycle Assessment* 13 532–546, 2008.
- [116] T. Koellner and R. W. Scholz, *Assessment of Land Use Impacts on the Natural Environment, Part 1: An Analytical Framework for Pure Land Occupation and Land Use Change*, *The International Journal of Life Cycle Assessment* 12 (1) 16 – 23, 2007.
- [117] T. Koellner and R. W. Scholz, *Assessment of Land Use Impacts on the Natural Environment, Part 2: Generic Characterization Factors for Local Species Diversity in Central Europe*, *The International Journal of Life Cycle Assessment* 13 (1) 32 – 48, 2008.
- [118] World Meteorological Organization (WMO), www.wmo.int, (приступљено 27.9.2019.)
- [119] S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller, *The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, UK and USA, 996 pp, 2007.
- [120] M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden, C.E. Hanson, *Impacts, Adaptation and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976 pp, 2007.
- [121] M.A.J. Huijbregts, S. Hellweg, R. Frischknecht, H.W. Hendrik, K. Hungerbühler, A. J. Hendriks, *Cumulative Energy Demand as Predictor for the Environmental Burden of Commodity Production*, *Environmental Science and Technology*, 44, 2189–2196, 2010.
- [122] W. Klopffer, *In Defence of the Cumulative Energy Demand*, *The International Journal of Life Cycle Assessment* 2 (2) 61, 1997.

- [123] D. Giirzenich , J. Mathur, N.K. Bansal , H.J. Wagner, *Cumulative Energy Demand for Selected Renewable Energy Technologies*, The International Journal of Life Cycle Assessment, 4 (3) 143 - 149, 1999.
- [124] H. J. Wagner, E. Pick, *Energy yield ratio and cumulative energy demand for wind energy converters*, Energy 29 2289–2295, 2004.
- [125] R. Frischknecht, M.A.J. Huijbregts, L.J.A. Rombouts, S. Hellweg, *Is Cumulative Fossil Energy Demand a Useful Indicator for the Environmental Performance of Products?*, Journal of Environmental Science and Technology, 40 (3) 641-648, 2006.
- [126] M.E. Bosch, S. Hellweg, M.A.J. Huijbregts, R. Frischknecht, *Applying Cumulative Exergy Demand (CExD) Indicators to the Ecoinvent Database*, The International Journal of Life Cycle Assessment 12 (3) 181–190, 2007.
- [127] G. Finnveden, P. Ostlund, *Exergies of natural resources in Life Cycle Assessment and other applications*, Energy Vol. 22, No. 9, pp. 923-931, 1997.
- [128] B. De Meester, J. Dewulf, S. Verbeke, A. Janssens, H. Van Langenhove, *Exergetic life-cycle assessment (ELCA) for resource consumption evaluation in the built environment*, Building and Environment 44 11–17, 2009.
- [129] M.A.R. Rodriguez, J. De Ruyck, P. Roque Díaz, V.K. Verma, S. Bram, *An LCA based indicator for evaluation of alternative energy routes*, Applied Energy 88 630–635, 2011.
- [130] Z. Kirova-Yordanova, *Application of the exergy method to environmental impact estimation: The ammonium nitrate production as a case study*, Energy 35 3221–3229, 2010.
- [131] J.F. Portha, S. Louret, M.N. Pons, J.N. Jaubert, *Estimation of the environmental impact of a petrochemical process using coupled LCA and exergy analysis*, Resources, Conservation and Recycling 54 291–298, 2010.
- [132] R.L. Cornelissen, G.G. Hirs, *The value of the exergetic life cycle assessment besides the LCA*, Energy Conversion and Management 43 1417–1424, 2002.
- [133] Emergy systems, University of Florida, www.emergysystems.org, (приступљено 26.10.2019.)
- [134] H.T. Odum, Emergy evaluation, *The international workshop on Advances in Energy Studies*, Energy flows in ecology and economy, Italy, 1998.
- [135] S. Ulgiati, H.T. Odum, S. Bastianoni, *Emergy use, environmental loading and sustainability an emergy analysis of Italy*, Ecological Modelling 73 215-268, 1994.
- [136] R. Siche, L. Pereira, F. Agostinho, E. Ortega, *Commun Nonlinear Convergence of ecological footprint and emergy analysis as a sustainability indicator of countries: Peru as case study*, International Journal of Nonlinear Sciences and Numerical Simulation 15 3182–3192, 2010.
- [137] N.U. Ukidwe, B.R. Bakshi, *Industrial and ecological cumulative exergy consumption of the United States via the 1997 input–output benchmark model*, Energy 32 1560–1592, 2007.

- [138] J. Dewulf, M.E. Bosch, B. De Meester, G. Van Der vorst, H. Van Langenhove, S. Hellweg, M.A.J. Huijbregts, *Cumulative Exergy Extraction from the Natural Environment (CEENE): a Comprehensive Life Cycle Impact Assessment method for resource Accounting*, Environmental Science and Technology, 41, 8477– 8483, 2007.
- [139] Fava, James, et. al. (ed), *A Conceptual Framework for Life-Cycle Impact Assessment*, Society of Environmental Toxicology and Chemistry, USA, 1992.
- [140] Dean M. Menke, Gary A. Davis, Bruce W. Vigon, *Evaluation of Life-Cycle Assessment Tools, Final Report*, The University of Tennessee - Center for Clean Products and Clean Technologies, Battelle - Strategic Environmental Management, 1996.