

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Инжењерство заштите животне средине

Ниво студија: Мастер академске студије

Предмет: Анализа животног циклуса

Број индекса: 309/2017

Никола И. Лукић

**Анализа животног циклуса прозора од
алуминијумских и *PVC* профила
мастер рад**

Комисија за преглед и одбрану:

1. **др Данијела Николић, доцент – ментор**

Датум одбране:

2. _____

3. _____

Оцена: _____

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да проучи препоручену и ширу литературу која се односи на анализу животног циклуса, са посебним освртом на анализу животног циклуса прозора од алуминјумских и *PVC* профила. Неопходно је да се у раду представи преглед истраживања везаних за анализу животног циклуса прозора од алуминјумских и *PVC* профила. Кроз приказ досадашњих истраживања треба представити све фазе анализе животног циклуса, са акцентом на анализу инвентара, дефинисање категорија утицаја, релевантних индикатора и категорија штетности. Посебно описати коришћене методологије, као и поступке карактеризације, нормализације и агрегације утицаја на животну средину. На крају приказа дати оцену еколошких профила и поређење прозора од алуминијумских и *PVC* профила.

Препоручена литература:

- [1] Ireneusz Zbicinski, John Stavenuiter, Barbara Kozłowska, H.P.M. van de Coevering, *Product Design and Life Cycle Assessment*, The Baltic University Press, 2006.
- [2] M. Asif, A. Davidson, T.Muneer “Life cycle od window materials – A comparative assessment” School of Engineering, Napier University, Edinburgh, U.K.
- [3] Katherine M. Switala-Elmhurst, LEED AP and Philip D. Udo-Inyang, “Life Cycle Assessment of Residential Windows: Saving Energy with Window Restoration” University of Philadelphia, 2014.
- [4] Ghada Elshafei, Abdelazim Negm: “Life Cycle Assessment as a Decision Making for Window Performance Comparison in Green Building Design”, World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Architectural and Environmental Engineering, 2015.

Ментор:

Крагујевац

октобар 2018.

Др Данијела Николић, доцент

Садржај

1.	Уводна разматрања	6
2.	Анализа животног циклуса	8
2.1.	Методе оцењивања Анализе животног циклуса.....	9
2.1.1.	Дефинисање циља и предмета	10
2.1.2.	Анализа инвентара	11
2.1.3.	Оцена утицаја животног циклуса	12
2.1.4.	Интерпретација животног циклуса.....	14
2.2.	Софтвери за прорачун <i>LCA</i>	15
2.2.1.	Софтверске методе за оцењивање животног циклуса	15
2.2.1.1.	CML 92.....	15
2.2.1.2.	Eco indicator 95 и Eco indicator 99.....	16
2.2.1.3.	EDIP 97 и EDIP 2003.....	17
2.2.1.4.	EPS 2000d.....	17
2.2.1.5.	IMPACT 2002+	18
2.2.1.6.	TRACI.....	18
2.2.1.7.	LIME.....	19
2.2.1.8.	Swiss Ecological Scarcity (UBP метода).....	19
2.2.1.9.	USEtox.....	20
2.2.1.10.	ReCiPe	20
3.	Примена <i>PVC</i> и алуминијумских профила	22
3.1.	<i>PVC</i> профили.....	22
3.1.1.	Примена <i>PVC</i> полимера у индустрији столарије	23
3.2.	Алуминијумски профили.....	25
3.2.1.	Примена алуминијума у индустрији прозора.....	26
4.	Анализа животног циклуса прозора	28
4.1.	Преглед студија <i>LCA</i> алуминијумских и <i>PVC</i> прозора	28
4.1.1.	<i>LCA</i> профила за производњу прозора – компаративна оцена.....	28
4.1.2.	<i>LCA</i> прозора у стамбеним објектима – рестаурација прозора	29
4.1.3.	Процена животног циклуса прозора у оквирима зелене градње	29
4.2.	Упоредна <i>LCA</i> алуминијумског и <i>PVC</i> прозора	30
4.2.1.	Анализа животног циклуса алуминијумског прозора	32
4.2.1.1.	Инвентар животног циклуса алуминијумског прозора.....	32
4.2.1.2.	Процесно стабло.....	34
4.2.1.3.	Карактеризација – утицаји и категорије оштећења	36
4.2.1.4.	Нормализација.....	40
4.2.1.5.	Агрегација – тежинско одмеравање	42

4.2.1.6.	Формирање јединственог резултата.....	44
4.2.2.	Анализа животног циклуса <i>PVC</i> прозора	46
4.2.2.1.	Инвентар животног циклуса алуминијумског прозора.....	46
4.2.2.2.	Процесно стабло.....	48
4.2.2.3.	Карактеризација – утицаји и категорије оштећења	50
4.2.2.4.	Нормализација.....	52
4.2.2.5.	Агрегација – тежинско одмеравање	55
4.2.2.6.	Формирање јединственог резултата.....	57
4.2.3.	Поређење резултата <i>LCA</i> алуминијумског и <i>PVC</i> прозора.....	59
4.2.3.1.	Поређење карактеризације	59
4.2.3.2.	Поређење нормализације	60
4.2.3.3.	Поређење агрегације – тежинског осредњавања	61
4.2.3.4.	Анализа доприноса процеса.....	63
4.2.3.5.	Поређење утицаја животне средине.....	63
4.2.4.	Анализа утицаја <i>PVC</i> и алуминијумског прозора на животну средину.....	64
4.2.4.1.	Утицај технолошких поступака.....	65
4.2.4.2.	Утицај животног века	66
4.2.4.3.	Различити сценарији одлагања	67
5.	Закључак.....	68
6.	Литература	69

Резиме:

У оквиру овог мастер рада, најпре су дате основе анализе животног циклуса, као битног инструмента за оцену утицаја производа на животну средину током свог животног века. Затим је дат преглед истраживања анализе животног циклуса прозора од алуминијумских и *PVC* профила. Након уводних дефиниција које се односе на општу употребу алуминијумских и *PVC* прозора, дат је осврт на принцип анализе животног циклуса и методе оцењивања, а приказани су и софтвери који се користе за прорачун анализе животног циклуса. Посебна пажња је посвећена процесу анализе животног циклуса једног алуминијумског и једног *PVC* прозора. Постигнути резултати су прикупљени у оквиру инвентара животног циклуса и затим су обрађени у фазама карактеризације, нормализације и фази додељивања тежинских коефицијената (агрегације). Формирани јединствени резултати за алуминијумски и *PVC* прозор су упоређени, узимајући у обзир и утицај технолошких поступака, животног века и одлагања производа. Анализе су показале јасну разлику, и са еколошке стране довеле до закључка да су по животну средину повољнији прозори од *PVC* профила.

Кључне речи: Анализа животног циклуса, прозор, *PVC*, алуминијум.

Abstract:

In this thesis, the basics of life cycle analysis are first given as an important instrument for assessing the impact of environmental products over their lifecycle. Then, an overview of the life cycle analysis of windows made of aluminum and PVC profiles is given. After introductory definitions relating to the general use of aluminum and PVC windows, a review of the life cycle analysis and assessment method is given, and also, the softwares used for the life cycle analysis are presented below. Special attention has been paid to the process of life cycle analysis of aluminum and PVC window. The achieved results are presented in the life cycle inventory and they are processed in the stages of characterization, normalization and weighting. Formed unique results for aluminum and PVC windows are compared, taking into account the impact of technological procedures, lifecycle and product disposal. Analyzes showed a clear difference, and from the ecological side led to the conclusion that the PVC windows are more attractive to the environment than aluminum windows.

Keywords: Life Cycle Assessment, window, *PVC*, aluminium.

1. Уводна разматрања

Земљиште, ваздух и вода чине скуп природних вредности чија комплексна повезаност формира животну средину, односно окружење у коме постоје услови за живот и развој живих бића. Животна средина, као околина човека представља све што нас окружује (биљке, животиње, земљиште, ваздух и вода), односно све оно што чини директну или индиректну везу човекове животне активности и производне активности.

Формирање окружења човека у савременом добу, довело је до високог степена употребе технолошких поступака и науке. Савремено окружење, сачињено од мноштва објеката, саобраћајница и индустријских центара довело је до нарушавања природних токова, чиме је животна средина директно угрожена.

Како се свест о животној средини и њеном очувању повећавала, менаџмент индустријског сектора је разматрао утицај индустријских активности на животну средину. Са циљем смањења утицаја који загађују животну средину и непрестано црпе природне ресурсе, уведен је такозвани “еколошки” приступ у индустријском сектору. “Еколошки” приступ у индустријском сектору подразумева смањење утицаја производње на животну средину, чиме се смањује потрошња ресурса и енергије при производним процесима. “Еколошки” приступ производње заснива се на принципу одрживог развоја.

Појам одрживог развоја је један од основних концепата у управљању природним ресурсима и животне средине. Одрживи развој се примењује у циљу рационалне и одрживе употребе природних вредности, како би ефикасност људске активности била еколошки задовољена.

Одрживи развој дефинисан је тако да задовољава потребе садашњице, а да притом не доводи у питање способност будућих генерација да задовоље своје властите потребе. Другим речима, одрживи развој има за циљ да садашње генерације опстану, тако што ће користити природне ресурсе рационално и еколошки одговорно, како би будуће генерације имале приближну позицију за опстанак и очување животне средине.

Одрживи развој интегрише економске, технолошке, социјалне и културолошке вредности, које су усклађене тако да се потребе заштите и унапређења животне средине непрестано развијају.

Заштита животне средине и њено очување, представљају један од највећих изазова садашњих генерација. Очување животне средине је изузетно комплексан процес са примарним циљем одрживости и основним приступом који спроводи индустријску екологију. Анализа животног циклуса је део индустријске екологије.

Анализа животног циклуса (*Life Cycle Analysis - LCA*) узима у обзир све процесе производње, почевши од екстракције сировина и производних процеса, као и корак употребе производа и његов утицај на животну средину током животног века. Анализа животног циклуса узима у обзир и утицај производа након његовог животног века, тј. анализира поступак одлагања целог производа или његових саставних елемената. Саставни елементи производа могу се поново користити за производњу нових производа. Поновна употреба, процес рециклаже, процес спаљивања или трајно одлагање на депоније чине анализу животног циклуса производа чији је животни век истекао.

Анализа животног циклуса производа прати животни пут производа, узимајући у обзир еколошке аспекте и потенцијалне утицаје.

Анализа животног циклуса производа вреднује утицај производа на здравље људи и квалитет екосистема, али такође вреднује и потрошњу материјала и енергије у свим фазама животног циклуса.

Анализа животног циклуса може довести до лакшег доношења одлука у индустријском сектору и може дати одговоре на питања [1]:

- 1) Које производе произвести?
- 2) На који начин пројектовати производ?
- 3) Које сировине користити?
- 4) Које изворе енергије користити?
- 5) Који тип амбалаже користити?
- 6) На који начин управљати генерисаним отпадом?
- 7) Какав је садржај информација који се даје потрошачима?
- 8) Који су релевантни индикатори утицаја на животну средину?

Прозори и врата се употребљавају вековима уназад. Први прозори прављени су од дрвета и састојали су се од дрвених рамова на које су стављане ручно дуване стаклене плоче. Први прозори су били малих димензија чији је распон ширине и висине био од 20 до 30 cm. Прозори нису пропуштали довољно сунчеве светлости, нити су пружали адекватну заштиту од атмосферских утицаја.

Савремена индустрија прозора и врата производи столарију која пружа адекватну заштиту од атмосферских утицаја (хладноћа и топлота, продор падавина, прашине, нечистоћа и буке) а такође обезбеђује продор светлости.

У савременој индустрији грађевинске столарије, најчешће се користе:

- PVC профили и
- алуминијумски профили.

Анализа животног циклуса се примењује у индустрији столарије са циљем да одговори на питања која се односе на утицај PVC и алуминијумских прозора на здравље људи, животну средину и употребу ресурса.

2. Анализа животног циклуса

Анализа животног циклуса (у даљем тексту *LCA* – *Life Cycle Assessment*) је алат за процену утицаја производа на животну средину. *LCA* представља скуп метода које идентификују утицај производа на животну средину узимајући у обзир целокупни животни циклус производа. Утицај производа на животну средину се анализира пре доношења коначне одлуке о изради производа, са циљем да се спречи неповољан утицај на животну средину [1].

Склоп *LCA* обухвата процес анализе материјала који се користи за производњу производа, анализу енергије, емисија и отпада које производ “емитује” кроз целокупни животни циклус. Целокупни животни циклус производа почиње од ресурса и експлоатације материјала, а завршава се коначним одлагањем производа. На слици 1. дат је приказ Анализе животног циклуса – *LCA* [2].



Слика 1. Анализа животног циклуса – *LCA*

Животни циклус производа чине међусобно повезане фазе које се односе на прикупљање сировина, прераду сировина, израду производа, његов ток коришћења, и на крају, његово одлагање. На слици 2. приказане су фазе животног циклуса производа.



Слика 2. Животни циклус производа

У основи *LCA* даје преглед свих фаза животног циклуса одређеног производа, почевши од набавке материјала, производње и дистрибуције, употребе, поновне употребе или рециклаже (у случају да је могуће остварити) до коначног одлагања. *LCA* обухвата анализе свих утицаја на животну средину кроз приступ “од колевке до гроба” (*from cradle to grave*) – односно кроз праћење утицаја током целокупног животног циклуса [1, 2].

2.1. Методе оцењивања Анализе животног циклуса

Принцип праћења производа на основу животног циклуса наишао је на ширу примену и развој крајем деведесетих година XX века. 1993. године је усвојен први *LCA* приручник, који је подржан упутствима за његову употребу.

Методе оцењивања *LCA* су данас уређене међународним стандардом **ISO 14040**:

- **ISO 14040** – Оцењивање животног циклуса – Принципи и оквир (2008. година),
- **ISO 14044** – Оцењивање животног циклуса – Захтеви и упутства за примену (2008. година), који је заменио следеће стандарде:
 - *ISO 14041* – Дефинисање циља и предмета, анализа инвентара (1998. година),
 - *ISO 14042* – Оцењивање утицаја животног циклуса (2000. година),
 - *ISO 14043* – Интерпретација животног циклуса (2000. година) [3].

Методе оцењивања *LCA* представљају практичну и технички поуздану подршку за спровођење *LCA* производа. Стандардима је дефинисан оквир у коме се спроводи *LCA* студија [2].

Методе Анализе животног циклуса обухватају четири фазе и закључна разматрања:

1. Дефинисање циља и предмета,
2. Анализа инвентара (*LCI*),
3. Оцена утицаја животног циклуса (*LCIA*),
4. Интерпретација – закључна разматрања.

Фазе анализе животног циклуса приказане су на слици 3.



Слика 3. Фазе Анализе животног циклуса [4]

2.1.1. Дефинисање циља и предмета

Прва фаза анализе животног циклуса је дефинисање циља и предмета. Дефинисањем циља се наводи:

- сврха - примена студије,
- разлог извођења студије,
- назив корисника студије,
- намеравана примена,
- преглед потенцијалних корисника резултата,
- назив обрађивача студије,
- листа потенцијалних корисника студије,
- да ће се резултати користити за поређење у циљу предочавања јавности [4].

Дефинисање циља је основа за свако *LCA* истраживње, како би се постигли квалитетни и реални резултати. Имајући у виду чињеницу да свака фаза *LCA* узима у обзир више могућности избора и вредновања, јасно је да дефинисан циљ доприноси постизању бољих резултата [5].

Предмет студије *LCA* треба да буде јасно одређен, како би обухватио потребне детаље о студији. Предмет студије описује параметре и могућности студије која се спроводи [5].

Према стандарду **ISO 14040** неопходно је одредити:

- функционалну јединицу,
- систем производа,
- границе система,
- алокацију процедуре,
- тип индикатора,
- методологију оцењивања животног циклуса,
- интерпретацију животног циклуса,
- листу података, квалитет података, ограничења и претпоставке,
- тип критичке оцено,
- форму извештаја студије [3].

У фази дефинисања циља и предмета постављају се техничке, географске или временске границе система. Ове границе се постављају као основа за прибављање и употребу података.

У студији *LCA* неопходно је “доказати” сва правила и постављене претпоставке који се примењују у оквиру анализе, тако да је неопходно прибавити валидну документацију којом се поставке доказују.

2.1.2. Анализа инвентара

Анализа инвентара (Life cycle inventory – *LCI*) се односи на прикупљање података и процес прорачуна у циљу изједначавања релевантних улаза и излаза система производа. Овим процесом се прикупљају подаци за све процесе појединачно у оквиру граница система.

Подаци у *LCI* процесу се укључују следеће параметре:

- улаз енергије, улаз сировина и друге физичке улазе,
- производе, копроизводе и отпад,
- емисије у ваздух, испуштања у воду и земљиште,
- друге аспекте животне средине [4, 6].

У *LCI* фази се одређују сви материјали и енергетски улази и излази кроз целокупан животни циклус производа, обухватајући енергетске билансе за сваки корак у животном циклусу. У овој фази се обухвата и материјални биланс.

Фаза инвентара животног циклуса – *LCI* фаза обухвата:

- припрему за прикупљање података,
- прикупљање података,
- поступак обрачуна,
- расподелу – алокацију [4, 6].

За спровођење студије анализе животног циклуса потребне су две главне категорије за прикупљање података.

Прва категорија се односи на специфичне податке који су везани за производњу, дистрибуцију и управљање, док се другом категоријом дефинишу општи подаци везани за енергетске потребе система, екстракцију сировина и транспорт.

Прикупљање података је комплексан процес у оквиру ког се прикупљају подаци за сваки јединични процес у оквиру граница система. Прикупљени квалитативни и квантитативни подаци укључују се у инвентар животног циклуса. Подаци се могу добити мерењем, израчунавањем или проценом. Они се користе да квантификују улазе и излазе јединичних процеса.

Подаци који се користе за *LCA* студију морају бити прецизни и валидни. Основне карактеристике података који се користе у *LCA* студији су временска, географска и технолошка покривеност, прецизност, потпуност, репрезентативност, доследност и репродуктивност [6].

Карактеристике и садржај прикупљених података за *LCA* студију приказани су у табели 1.

Табела 1. Карактеристике и садржај прикупљених података за LCA студију [3]

Основна карактеристика прикупљених података	Садржај прикупљених података
Временска покривеност	Старост података и минимални временски период за који треба прикупљати податке.
Географска покривеност	Географска област са које треба прикупљати податке за јединичне процесе.
Технолошка покривеност	Специфична технологија или скуп технологија.
Прецизност	Мера променљивости вредности података за сваки података.
Потпуност	Проценат тока који се мери или процењује.
Репрезентативност	Квалитативна процена степена до ког скуп података одржава стварну популацију интереса.
Доследност	Квалитативна процена о применљивости методологије студије на компоненте.
Репродуктивност	Квалитативна процена степена репродукције резултата у извештају студије.

Након прикупљања података, неопходно је обрадити податке кроз процесе који се односе на:

- валидацију прикупљених података,
- повезивање података са јединичним процесима,
- повезивање података са референтним токовима функционалне јединице [6].

Већина индустријских процеса даје више од једног производа. У индустрији се често рециклира шкарт и користи се за производњу истог или различитог производа. На основу тога, неопходно је алоцирати токове и емисије за различите производе који настају у производном процесу [2].

2.1.3. Оцена утицаја животног циклуса

Трећа фаза анализе животног циклуса је оцењивање утицаја животног циклуса (*Life cycle impact assessment – LCIA*). Ова фаза се врши успостављањем повезаности улаза и излаза са утицајим на животну средину.

Оцена утицаја животног циклуса – *LCIA* се врши у два корака:

- организовањем и класификовањем улазних и излазних података прикупљених у оквиру анализе инвентара и
- сврставањем улаза и излаза за сваку категорију на основу индикатора [7].

Оцена утицаја животног циклуса се спроводи са циљем да се испита систем производа из перспективе утицаја на животну средину користећи показатеље и индикаторе који се изводе из резултата добијених у фази инвентара животног циклуса.

Значај потенцијалних утицаја на животну средину уз помоћ анализе инвентара животног циклуса врши се у пет корака:

1. Избор и дефинисање категорије утицаја, индикатора и модела,
2. Класификација утицаја
3. Карактеризација,
4. Нормализација података,
5. Агрегација – тежинско одмеравање података [4].

Фаза оцене утицаја животног циклуса састоји се од обавезних и опционих елемената који су шематски приказани на слици 4.



Слика 4. Фаза оцене утицаја животног циклуса [3]

Оцена утицаја животног циклуса разматра само питања животне средине која су идентификована у оквиру циља и предмета, али и подручја примене. Оцена утицаја животне средине не представља комплетну анализу и оцену свих аспеката животне средине.

Фаза оцене утицаја животног циклуса обезбеђује информације за фазу интерпретације, пружајући свеобухватни преглед проблематике утицаја производа на животну средину [2].

2.1.4. Интерпретација животног циклуса

Интерпретација животног циклуса је поступак у коме се идентификују, проверавају, квалификују и оцењују информације које су добијене на основу резултата анализе инвентара животног циклуса или оцењивања утицаја животног циклуса система производа [8].

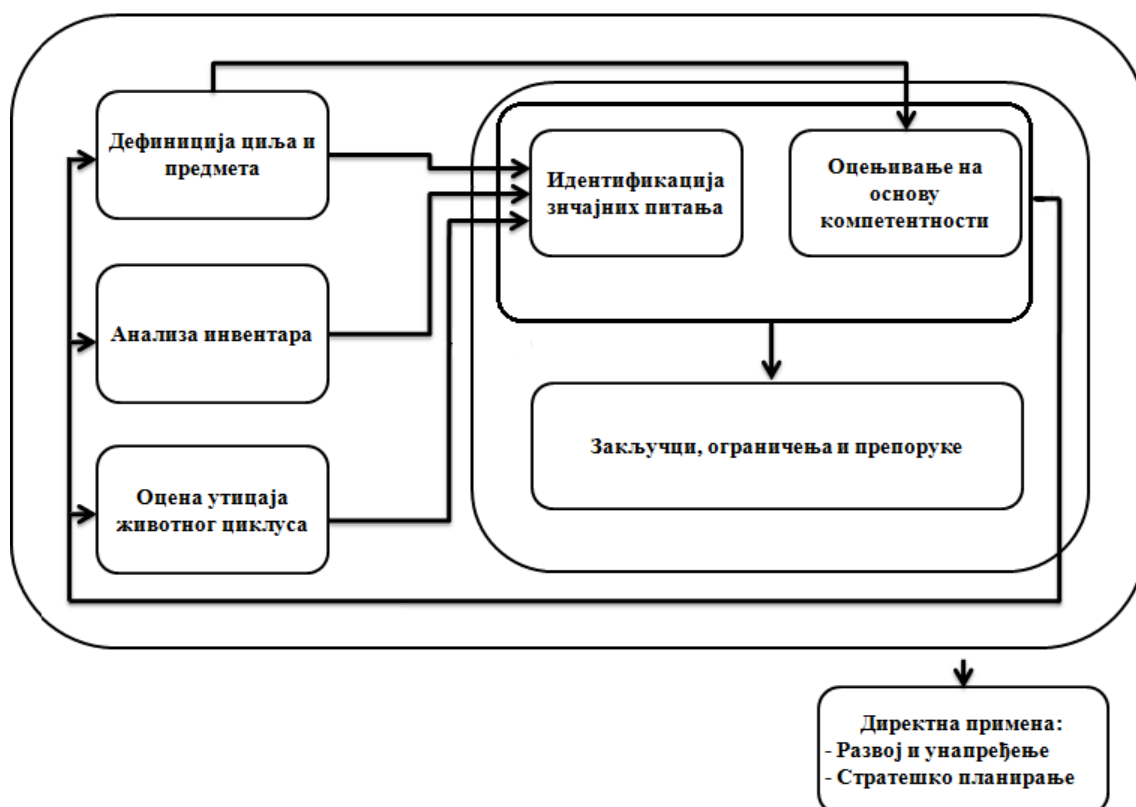
У овој фази доносе се резултати на основу којих је могуће донети закључке, објаснити ограничења и обезбедити препоруке. Фаза интерпретације животног циклуса представља процес у коме се постиже балансирање важности утицаја одређених ефеката којим производ утиче на средину [2].

Елементи у фази интерпретације животног циклуса су:

- идентификовање значајних питања на основу *LCI* и *LCIA* фазе,
- оцењивање значајних питања на основу компетентности,
- доношење закључка, препорука и писање извештаја.

Фаза интерпретације животног циклуса заједно са фазом дефиниције циља, предмета и подручја примене чини суштински део студије, док фазе *LCI* и *LCIA* представљају информације о систему производа [8].

Суштински односи елемената анализе животног циклуса су приказани на слици 5.



Слика 5. Односи елемената анализе животног циклуса [3]

Резултати интерпретације се дају у облику закључка и препорука доносиоцима одлука, а у складу са циљем и предметом студије. Фаза интерпретације може да обухвати процес преиспитивања и ревидирања предмета анализе животног циклуса, као и квалитет података који су прикупљени.

2.2. Софтвери за прорачун LCA

У циљу постизања прецизних и поузданих резултата LCA анализе примењују се софтвери који се константно развијају.

Списак софтвера за прорачун LCA анализе дат је у табели 2.

Табела 2. Софтвери за прорачун LCA [7, 9]

	Софтвер	Развојни центар
1	<i>ECO-it 99</i>	<i>Pré Consultants BV</i>
2	<i>Sima Pro</i>	<i>Pré Consultants BV</i>
3	<i>EcoCalculator</i>	<i>The Athena Institute</i>
4	<i>Bees 4.0</i>	<i>NIST – National Institute of Standards and Technology</i>
5	<i>EcoLab</i>	<i>Nordic Port AB</i>
6	<i>EDIP PC-tool</i>	<i>Danish Environmental Protection Agency</i>
7	<i>GaBi 4</i>	<i>PE Product Engineering GmbH</i>
8	<i>KCL Eco 4.1</i>	<i>KCL, Finnish Pulp and Paper Research Institute</i>
9	<i>JEMAI-LCA</i>	<i>JEMAI, Japan Environmental Management Association for Industry</i>
10	<i>LCAiT 4</i>	<i>Chalmers Industriteknik, Ekologik</i>
11	<i>PEMS v4.6</i>	<i>Pira International</i>
12	<i>SPINE@CPM Data Tool</i>	<i>CPM</i>
13	<i>IMPACT 2002+</i>	

Анализа животног циклуса је пројекат будућности, тако да се очекује све већа софтверска заступљеност која ће изучавати LCA анализе.

2.2.1. Софтверске методе за оцењивање животног циклуса

2.2.1.1. CML 92

CML 1992 је метода за оцењивање утицаја на животну средину, која ограничава упоредно моделовање на релативно ране фазе узрочно-последичног ланца, како би се смањиле несигурности добијених резултата. LCI резултати се групишу у оквиру категорија према одговарајућим тематским целинама. Тематске целине представљају опште механизме (нпр. климатске промене) или опште прихваћене групе (нпр. екотоксичност), покривајући следеће главне категорије утицаја:

- 1) обавезне категорије утицаја (индикатори категорија утицаја животне средине употребљавани у већини LCA студија),
- 2) додатне категорије утицаја (операциони индикатори утицаја, постојећи, али који се не укључују често у LCA студије),
- 3) друге категорије утицаја (за које нису доступни операциони индикатори, због чега их није могуће квантитативно укључити у LCA) [7].

CML 2002 се заснива на проблемско оријентисан приступ оцењивања животне средине, за разлику од нпр. *Eco indicator 99* и *EPS* метода, које су засноване на приступу оштећења, код којих се оцењује штета нанета животној средини. При томе, напомиње се да су “проблемски оријентисан приступ” и “приступ оштећења” два различита модела.

Метода *CML 2002* покрива две основне категорије утицаја:

- утицаји употребе земљишта (оштећење озонског омотача, токсичност по људе, промена климе),
- екотоксичност (свежа вода и седименти, токсичност земљишта, ацидификација, еутрофикација).

Додатне категорије утицаја које покрива метода *CML 2002* су утицаји јонизујућег зрачења и непријатни мириси (загађен ваздух, отпадна топлота, десикација – сушење биљака и исцрпљивање биотичких ресурса).

CML 2002 обезбеђује најбољу практичну вредност индикатора категорија утицаја који су усаглашени са *ISO* стандардом и подржани су од стране научне заједнице [7].

2.2.1.2. *Eco indicator 95* и *Eco indicator 99*

Eco indicator метода је једна од најразвијенијих метода за оцењивање утицаја животног циклуса на животну средину. Модел је развијен са циљем повезивања *LCI* резултата са процедурама одређивања тежинских коефицијената, како би резултати *LCA* били представљени на свим нивоима. *Eco indicator* обухвата и процесе карактеризације, нормализације и “одмеравања” (додељивања тежинских фактора или значајности). Процеси карактеризације су постављени у циљу поједностављивања интерпретације и одмеравања резултата [10].

На највишем хијерархијском нивоу, резултати се могу представити као један, обједињени, квантификовани резултат – *Eco indicator*, који може олакшати посао пројектантима и менаџерима у производњи у процесу доношења одлука у вези са штетношћу производа на животну средину.

Код методе *Eco indicator 95* процес карактеризације одговора *CML 92* методи, а једина разлика је у томе што су резултати токсичности подељени у следеће категорије:

- тешки метали,
- канцерогене супстанце,
- пестициди,
- зимски смог.

Унапређена верзија ове методе, *Eco indicator 99*, уводи три крајње категорије утицаја односно категорије штетности:

- 1) људско здравље,
- 2) квалитет екосистема,
- 3) ресурси.

Оцењивање штетности је корак у оквиру којег су вредности индикатора категорија утицаја укључени у процес карактеризације, са циљем формирања категорија штетности. У том смислу, *Eco indicator 99* метода представљала је почетну тачку за развој *LIME* и *IMPACT 2002+* метода [10].

Предности методе *Eco indicator 99* је у томе што се користи метод крајњих утицајних категорија које се могу користити у било којој *LCA*, са посебним освртом на функцију “одмеравања” резултата. *Eco indicator 99* има за циљ да представи резултате који се односе на категорије утицаја климатске промене, оштећење озонског омотача и потрошњу ресурса [7].

2.2.1.3. EDIP 97 и EDIP 2003

Метода *EDIP 97* (*Environmental Development of Industrial Products*) је потпуно документована метода која обухвата већину емисија, употребу ресурса и утицаје који се јављају у радној средини.

Унапређена верзија *EDIP 97* методе је *EDIP 2003* која подржава већи део механизма животне средине у односу на *EDIP 97* и приближава се приступу оцењивања оштећења животне средине (преко категорија утицаја). Овај део развоја методе обухвата и испитивање могућности које укључују *LCIA* утицајне категорије, као што су: формирање фотохемијског озона, ацидификацију, обогаћивање хранљивим материјама, екотоксичност, токсичност по људе и буку [7].

Предности методе су у томе што она обухвата три кључне области: утицаје на животну средину, утицаје на радну средину и потрошњу ресурса. Слабост методе *EDIP 2003* је што обезбеђује индикаторе на искључиво средишњем нивоу утицаја, обезбеђује карактеризационе факторе локалног карактера за само 40 европских региона и није развијен модел за специфично додељивање значајности индикатора.

Метода *EDIP 2003* обухвата следеће индикаторе: глобално загревање, оштећење озонског омотача, ацидификацију, еутрофикацију, формирање фотохемијског озона, токсичност по људе, екотоксичност и буку [7].

2.2.1.4. EPS 2000d

EPS метода (*Environmental Priority Strategies*) представља интерни развојни алат намењен компанијама, а циљна група су пројектанти производа, односно одељења за развој производа. Користи се када је неопходно донети одлуку између два производна концепта. Развој “од врха на доле” (*top-down*) *EPS* система, довео је до отворене хијерархије унутар припадајућих принципа и правила. Општи принципи развоја ове методе су:

- “од врха на доле” принцип (највиши приоритет се додељује за корисност система),
- принцип утицаја на животну средину (израчунати утицај на животну средину представља све тежинске и укупно вредноване категорије утицаја),
- подразумевани принцип (подразумева се потреба за оперативном методом),
- принцип непоузданости (непоузданост улазних података мора бити процењена).

EPS 2000d је стандардна метода за оцењивање утицаја у оквиру *EPS* система. Методу чине средишња и крајња структура оцењивања утицаја. Индикатори категорије утицаја,

изабрани су тако да представљају стварне утицаје на животну средину, једног или више заштитних фактора као што су људско здравље, екосистем - производни капацитет, биодиверзитет, абиотички ресурси и културне вредности.

Предност *EPS 2000d* представља помоћни алат за пројектанте и конструкторе приликом процеса одлучивања, обезбеђује индикаторе утицаја на средишњем и крајњем нивоу. Индикатори завршетка категорије утицаја укључују анализе са циљем смањивања неизвесности резултата, обезбеђујући глобално признате резултате. Слабост је што су сви индикатори категорија изражени у монетарним јединицама, односно, базирани су на спремност потрошача да плате спречавање негативне промене изражене индикаторима [7].

2.2.1.5. IMPACT 2002+

IMPACT 2002+ LCIA метода, представља комбиновани приступ средишњег и крајњег нивоа утицаја. Кроз овај комбиновани приступ сви *LCI* резултати и основни токови повезују се са 14 категорија утицаја средишњег нивоа, и сумирају се у 4 категорије оштећења [7].

IMPACT 2002+ метода укључује нове концепте и методе за упоредно оцењивање токсичности по људе и екотоксичности. Фактори утицаја на људско здравље прорачунати су за канцерогене и неканцерогене материје. Трансфер загађујућих материја у храни, више се не заснива на анализама потрошње, већ на прорачунима нивоа пољопривредне и сточарске производње. Унутрашње и спољашње емисије у ваздух се могу поредити, а узет је у обзир испрекидани (повремени) карактер падавина. Остале утицајне категорије средишњег нивоа, преузете су из постојећих методологија *Eco indicator 99* и *CML 92* и по потреби адаптиране. Сви резултати средишњег нивоа исказују се у јединицама референтних супстанци за које су успостављене релације са 4 категорије оштећења [10].

Предност методе је обезбеђивање комбинованог приступа преко средњег нивоа утицаја и категорија оштећења и чињеница да омогућава упоредно оцењивање и обезбеђује мултиконтиненталну регионалну валидност. Слабост методе је што не предлаже специфично додељивање тежинских фактора значајности [7].

2.2.1.6. TRACI

TRACI метода је алат за смањење и оцену хемијских и других утицаја на животну средину. Ова метода развијена је са циљем да помогне у спровођењу процене утицаја за потребе одрживог развоја, оцењивања животног циклуса - *LCA*, индустријске екологије, процеса пројектовања и превенције загађења [7].

Истраживања у оквиру категорије утицаја које чине ацидификација, настанак смога, глобално загревање, еутрофикација, људско здравље – канцерогене супстанце, људско здравље – супстанце које нису канцерогене, оштећење озонског омотача, екотоксичност, потрошња фосилних горива, заузимање земљишта и потрошња воде, била су развијана специјално за услове Сједињених Америчких Држава. Истраживања су спроведена формирањем улазних података одговарајућих за локације на њиховој територији. *TRACI* методологија одражава тренутно стање развоја, конзистентност са прописима *EPA*, као и најбоље доступне праксе за оцењивање утицаја животног циклуса у Сједињеним Америчким Државама.

Предност методе је чињеница да се предлаже приступ преко средишњег нивоа утицаја у складу са прописима *EPA*, и помиње приступ крајњих категорија утицаја преко

људског здравља, екосистема, ресурса и антропогене средине, али без упоредног приказа. Слабости методе су чињенице да метода покрива само Сједињене Америчке Државе и да није присутна у водећим софтверима за оцењивање животног циклуса [7].

2.2.1.7. LIME

LIME метода се заснива на моделовању крајњих категорија утицаја (*Life-cycle Impact assessment Method for Endpoint*). Развијена је у оквиру студије *LCA* са циљем развоја јапанске верзије методе за оцењивање утицаја на животну средину. *LIME* се користи за процену штетности преко крајњих категорија утицаја, као што су људско здравље и еколошки ризик, који се спроводе анализирајући последице 11 категорија утицаја, укључујући глобално загревање, токсичност по људе и потрошњу ресурса [7].

Моделовање друштвено-економског утицаја засновано је на концепту корисничких трошкова, што доприноси једнакости будућих генерација. Поступак за мерење штете на екосистем заснива се на студијама процене ризика од изумирања појединих врста у области биолошке конзервације. Развој фактора оштећења минералних ресурса, фосилних горива и биотичких ресурса омогућава упоређивање и интеграцију са штетама проистеклим из других категорија утицаја, попут глобалног загревања и ацидификације.

Метода *LIME* интегрише природне науке - епидемиологију, климатологију, биологију конзервације, здравствену статистику и социјалне науке - економију заштите животне средине, социологију, психологију и друге. Интеграција природних, економских и других наука *LIME* методу позиционира на високом нивоу интердисциплинарног истраживања у области животне средине и већ је дала значајне доприносе широм света. Предности ове методе су развој систематског моделовања индикатора средишњег-крајњег нивоа и укључивање оштећења са антропогеним окружењем, док је њена слабост ограничавање индикатора о значајности на услове животне средине Јапана.

2.2.1.8. Swiss Ecological Scarcity (UBP метода)

UBP метода први пут је објављена у Швајцарској 1990. године. Прва ревизија извршена је 1997. године, а следећа 2004. године. Метода је намењена за стандардно оцењивање животне средине са специфичним производима или процесима. *UBP* метода често се користи и као елемент система управљања животном средином (*EMS*) у оквиру компанија, где је оцена аспеката животне средине компаније подржана таквом методом одмеравања [7].

UBP метода или Швајцарска *Ekopoint* метода, омогућава упоредно додељивање значајности и агрегацију различитих еколошких интервенција применом еко-фактора. Другим речима, метода садржи тежинске факторе за различите емисије у ваздух, воду и земљиште, као и за употребу енергетских ресурса. Еко-фактори засновани су на годишњим реалним токовима (садашњи токови) и на годишњем протоку, који се сматра критичним (критични токови) у одређеном подручју (земља или регион). Еко-фактори су првобитно развијени за подручје Швајцарске, а затим и за неке друге земље, као што су Белгија и Јапан.

UBP метода је развијена по принципу “од врха на доле”, и изграђена је на претпоставци да се добро утемељен оквир политике заштите животне средине (укључујући међународне уговоре) може искористити као референтни оквир за оптимизацију и унапређење појединачних производа и процеса. Различити штетни утицаји по људско здравље и квалитет екосистема, разматрају се у оквиру циљно постављеног процеса опште политике заштите животне средине

Предност ове методе је што обезбеђује добро дефинисане процесе нормализације и додељивања тежина, а слабост чини ограниченост на приступ средишњег нивоа утицаја, и ограниченост на само одређене регионе [7].

2.2.1.9. USEtox

USEtox је свеобухватан научни консензусни модел, али још увек оскудно развијен и садржи само најутицајније елементе модела базиране на тренутној пракси у контексту LCA. Овај модел токсичности, фокусиран је на релативно прецизне карактеризационе факторе (CFS) за токсичност по људе и слатководну екотоксичност [7].

Заснива се на добро референцираној бази података која је коришћена за израчунавање карактеризационих фактора за неколико хиљада супстанци. USEtox представља основу за препоруке из “UNEP-SETAC иницијативе животног циклуса” (UNEP-SETAC’s Life Cycle Initiative) у делу карактеризације токсичних утицаја код оцењивања животног циклуса.

USEtox је развијен уз подршку “UNEP-SETAC иницијативе животног циклуса”, а развој је укључио и ауторе других модела који се најчешће користе у досадашњој пракси у контексту LCA. Овај метод обезбеђује карактеризационе факторе за токсичност по људе и слатководну екотоксичност. Слабост је то што још увек није присутан у GaBi софтверу [7].

2.2.1.10. ReCiPe

ReCiPe метода је настала као наставак развоја метода Eco-indicator 99 и CML 2002, са циљем да интегрише и усклади приступ утицајним категоријама у конзистентном оквиру. Индикатори су у овој методи одређени преко два нивоа:

- 1) Први ниво: осамнаест индикатора средишњег нивоа
- 2) Други ниво: три крајње категорије утицаја [7].

Утицајне категорије средишњег нивоа су:

- | | |
|---------------------------------|----------------------------------|
| ○ токсичност по људе, | ○ слатководна екотоксичност, |
| ○ промена климе, | ○ морска екотоксичност, |
| ○ стањење (трошење) озонског | ○ јонизујуће зрачење, |
| омотача, | ○ заузимање пољопривредног |
| ○ стварање фотохемијских | земљишта, |
| оксиданата, | ○ заузимање урбаног земљишта, |
| ○ слатководна еутрофикација, | ○ трансформација природног |
| ○ морска еутрофикација, | земљишта, |
| ○ ацидификација земљишта, | ○ потрошња фосилних горива, |
| ○ стварање прашкастих материја, | ○ потрошња минералних ресурса, |
| ○ земљишна екотоксичност, | ○ потрошња слатководних ресурса. |

Утицајне категорије крајњег нивоа су:

- људско здравље,
- квалитет екосистема,
- ресурси.

Механизам заштите животне средине је основа за моделовање у оквиру *ReCiPe* методе. Управо механизам заштите животне средине се може посматрати као низ ефеката који заједно могу да изазову одређени степен оштећења, као што је оштећење људског здравља или оштећење екосистема.

Предности *ReCiPe* методе су у томе што предлаже конзистентну примену индикатора у истом механизму и што је већина категорија утицаја описана у рецензираним научно стручним радовима.

Метода покрива око 3000 супстанци и присутна је у водећим софтверима, као што су *GaBi* и *SimaPro*.

Недостатак ове методе је чињеница да њена примена покрива само регион Европе [7].

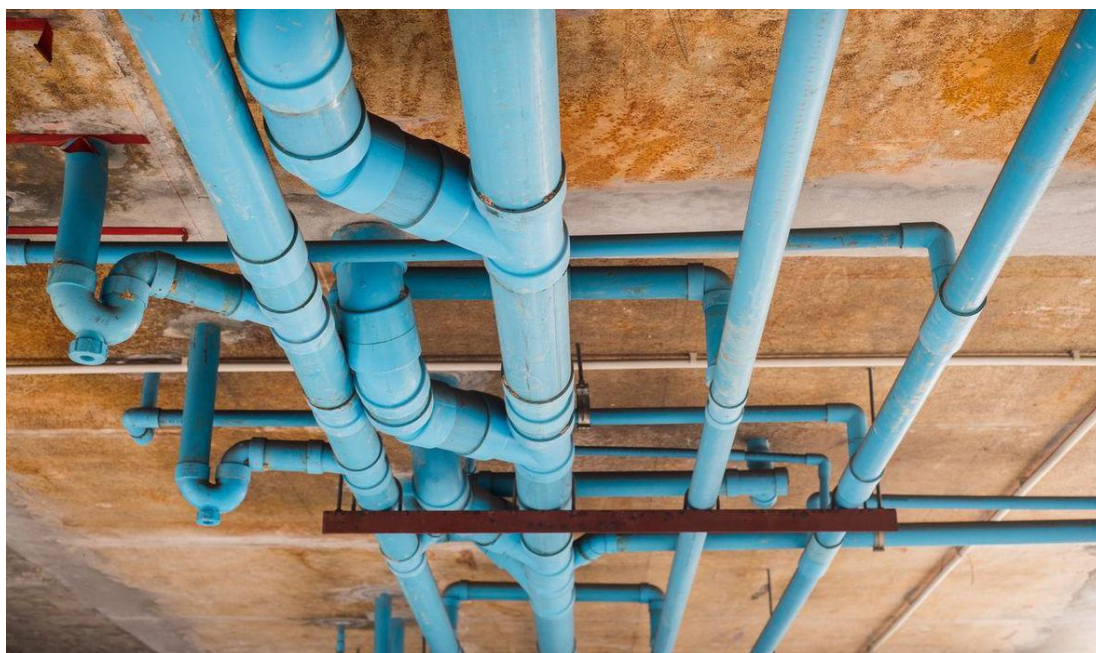
3. Примена PVC и алуминијумских профила

3.1. PVC профили

Поливинил хлорид (*Polyvinyl chloride – PVC*) је пластомерни материјал, који је случајно откривен у XIX веку и појавио се као бела чврста материја унутар боца винил хлорида које су се налазиле на сунчевој светлости. У раним годинама XX века руски хемичар Иван Остромисленски и Фритз Клатер из хемијског трговачког друштва Немачке, започели су употребу PVC материјала у комерцијалним производима. Производи који су у свом саставу садржали PVC наишли су на велики неуспех. 1926. године компанија *B.F. Goodrich* у сарадњи са америчким истраживачем Валдом Семоном започела је процес производње PVC материјала са додатком адитива. Резултат ове сарадње био је флексибилан материјал који је био лакши за обраду и убрзо је нашао комерцијалну примену и био релативно брзо прихваћен од стране корисника [11].

Данас је PVC полимер – молекула који се састоји од мањих молекула угљеника (C), водоника (H) и хлора (Cl). Хемијска ознака PVC полимера је $C_2H_3Cl_n$.

PVC има распрострањену примену. Најраспрострањенија примена је у грађевинарству за израду прозора, врата, ролетни, цевовода (слика 6) итд. Овај материјал се примењује и у електроиндустрији, најчешће се користи као изолатор каблова због свог изолационог својства.



Слика 6. PVC цевовод [12]

У великој мери се користи за производњу амбалаже – боца, кутија, паковања за производе. PVC се користи и за производњу фолија.

Примена PVC полимера је заступљена и у свери медицине где се израђују медицинска помагала, паковања за лекове и потрошни материјали као што су шприцеви, боце за инфузију и слично.

PVC се користи у ауто индустрији, индустрији играчака, намештаја и многим другим секторима.

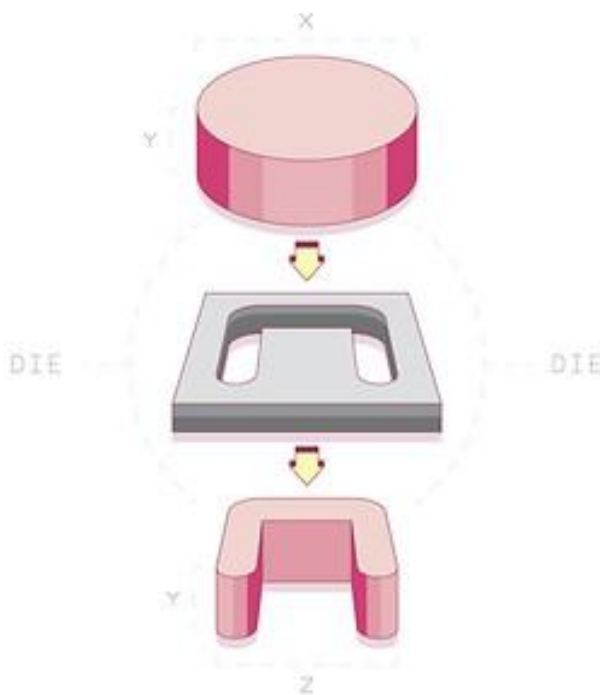
3.1.1. Примена *PVC* полимера у индустрији столарије

PVC полимер се као обрадна сировина јавља у три облика и то као:

- меки *PVC*,
- савитљиви *PVC*,
- крути *PVC*.

Управо се крути *PVC* полимер примењује у индустрији столарије. Основне карактеристике кругог *PVC* полимера су тврдоћа, жилавост и отпорност на хемикалије. Истовремено *PVC* полимер је крт, и неопходно је додати адитиве (пластификаторе) како би био подобан за растезање и савијање при изради профила. Пластификатори се додају како би се након вишегодишње употребе производи од *PVC* профила не би скупили и поново постали крти.

Профили се производе екструдирањем припремљене масе кроз пресу са калупом за профилисање. Маса која “прође” кроз калуп добија жељени облик, а затим се сече на потребну – стандардну дужину. Шематски приказ екстудовања *PVC* полимера приказан је на слици 7.



Слика 7. Екстудовање *PVC* полимера [13]

Профили стандардне дужине достављају се произвођачима *PVC* столарије који у својим производним погонима производе готове производе.

Први прозор направљен од *PVC* полимера настао је 1954. године са употребом фосвата и фталата. Употреба фталата у изради *PVC* прозора била је неприхватљива због токсичних и канцерогених својстава које су научно доказане. Убрзо су фталати избачени из употребе, а почели су да се примењују хлоровани угљоводоници и такозвани “еколошки” пластификатори као што је сојино уље.

PVC профил доброг квалитета, који испуњава све еколошке стандарде не треба да садржи више од 7% примеса. У укупној маси поливинил хлорид треба да садржи удео од минималних 93%, а удео примеса максималних 7%. Овај однос је постављен као граница за постизање потребне еластичности и могућности за обраду, без угрожавања еколошких карактеристика.

Производња PVC столарије од њеног настанка до данас унапређена је многим процесима у самој производњи профила, што је довело да данас PVC профили одговарају најстрожијим и еколошким стандардима. Дотрајали профили се могу рециклирати и поново вратити у процес производње.

Резултат вишедеценијског радног ангажовања у индустрији PVC полимера довео је до тога да су PVC профили подржани дугогодишњим гаранцијама за дуги век трајања. Неке од предности на које указују сами произвођачи суотпорности на високим и ниским температурама, као и тежа запаљивост него раније.

Предности, односно аргументи произвођача који имају за циљ да придобију поверење инвеститора су:

- добра топлотна изолација,
- велики избор облика и боја,
- могућност индивидуалног дефинисања противпровалне заштите,
- једноставно одржавање,
- изузетна глаткоћа и племенита *HDF* површина (*High Definition Finishing*),
- дуговечност – отпорност на климатске утицаје,
- еколошка одрживост, могућност рециклирања [13].

Технички подаци и карактеристике PVC профила чија је уградна дубина 70 mm приказани су у табели 3.

Табела 3. Технички подаци PVC профила (70 mm) [13].

Уопштени подаци	
Системска дубина	70 mm
Број комора	5
Дебљина стакла	Максимално 44 mm
Систем дихтунга	Два належућа дихтунга
Дизајн профила	Равно крило, заобљено крило, крило са обореним ивицама
Видна ширина	Променљива
Карактеристике	
Термоизолација	1,3 W/m ² K
Отпорност на ветар	B5
Отпорност на кишу	9A
Пропусност ваздуха	4
Звучна изолација	45 dB
Противпровална заштита	RC2

Столарија израђена од PVC профила у Европској унији је наишла на широку примену, како у новоградњи, тако и у објектима који захтевају реновирање.

3.2. Алуминијумски профили

Алуминијум је хемијски елемент који је трећи најзаступљенији и најчешћи метал у земљиној кори и ретко се може наћи самородан, већ се често налази са силицијумом и кисеоником у саставу алумосиликата, у чијој кристалној структури заузима облик тетраедра.

Алуминијум се производи на примарни и секундарни начин. Примарни начин подразумева добијање алуминијума из руде боксит, док је секундарни начин заправо рециклажа алуминијумског отпада. Рециклирањем алуминијумског отпада је могуће уштедети и до 95% енергије која је неопходна за производњу алуминијума који се добија од руде боксит – примарног алуминијума.

Крајем XIX века Карл Јозеф Бајер је развио процес којим се и данас у великој мери добија алуминијум у индустријским постројењима. Бајеров процес довео је до тога, да је започета шира примена алуминијума.

У истопљеном течном стању, алуминијум се често легира са бакром, магнезијумом, гвожђем итд, чиме се могу добити (и доћи до изражаја) позитивне особине алуминијума. Легирањем се такође могу и уклонити или умањити нежељене карактеристике алуминијума.

Алуминијум се најчешће користи у аутомобилској индустрији, затим у грађевинској и електро индустрији као изузетно добар проводник. Због своје мале густине, често се користи у околностима где је потребно смањити тежину елемената, као што је на пример авио индустрија.

Примена алуминијума у грађевинској индустрији је у експанзији. Алуминијум се примењује у изради алуминијумских конструкција (слика 8), прозора, врата, ограда итд.



Слика 8. Алуминијумска конструкција [14]

3.2.1. Примена алуминијума у индустрији прозора

Алуминијум се користи у индустрији прозора, врата, конструкција и фасада. Примена алуминијума је заступљенија на пословним објектима, док је ређа примена на објектима за становање.

Алуминијумски профили који се користе у индустрији прозора могу се поделити на две основне фракције:

- алуминијумски профил без топлотне изолације (Хладни профил) и
- алуминијумски профил са топлотном изолацијом (Термо профил).

Алуминијумски профили без топлотне изолације представљају такозвану “нижу класу” алуминијумских профила који се користе за израду прозора. Приказ пресека прозора направљеног од профила без топлотне изолације приказан је на слици 9.



Слика 9. Пресек прозора без топлотне изолације [15]

Прозори направљени од алуминијумских профила без топлотне изолације користе се за унутрашње преграђивање, подрумске просторије, гаражне просторије или на позицијама где није потребна изолација између просторија. Овај тип профила није погодан за стамбене објекте, јер долази до кондезације и на прозорима се појављује влага. Влага настаје када се топао ваздух из просторије нађе у контакту са спољним хладним ваздухом, на месту где долази до највећих топлотних губитака.

Алуминијумски профили са топлотном изолацијом користе се за израду прозора који се примењују у стамбеним објектима, односно објектима који користе топлотну енергију за загревање унутрашњег простора.

Задатак прозорских профила је да спрече или умање пролаз топлотне енергије кроз њих, тако је потребно постићи да температурна разлика унутар просторије и спољашње средине буде што мања. Мања температурна разлика се постиже тако што се између њих постављају материјали који имају висок изолациони капацитет. Ти материјали се називају топлотна изолација или термички прекиди.

Топлотна изолација се израђује од полиамида који се поставља унутар алуминијумских профила. Приказ пресека алуминијумског профила са топлотном изолацијом дат је на слици 10.



Слика 10. Пресек алуминијумског профила са топлотном изолацијом [16].

Топлотна изолација се специјалним процесом у току производње профила увлачи у сам профил. Топлотна изолација може бити у разним димензијама и облицима.

Постизање бољих термичких карактеристика остварује се уколико је полиамид између профила шири и површински већи.

Полиамиди који се користе за израду топлотне изолације код алуминијумских профила могу бити:

- полиамиди са експандирајућом полиуретанском траком и
- монолитни полиамиди.

Полиамиди са експандирајућом полиуретанском траком се могу пластифицирати и елоксирати, док се монолитни полиамиди могу само елоксирати.

4. Анализа животног циклуса прозора

4.1. Преглед студија LCA алуминијумских и PVC прозора

Како је анализа животног циклуса савремена метода за процену утицаја производа на животну средину, тако је број објављених студија на тему анализе животног циклуса столарије у порасту.

4.1.1. LCA профила за производњу прозора – компаративна оцена

Аутори M. Asif, A. Davidson и T. Muneer су у оквиру рада “*Life cycle od window materials – A comparative assessment*” дали компаративну анализу животног циклуса материјала који се обично користе за производњу прозора, наглашавајући њихове предности и недостатке. Профили од различитих материјала су процењивани на основу њихове производње, потрошње енергије и утицаја на животну средину [17].

Студијском анализом утврђена је количина енергије за производњу прозора од алуминијумских профила, PVC профила, профила од обрађеног дрвета са алуминијумском облогом и дрвених прозорских профила. Количина енергије је утврђена за референтни прозор димензија $1,2\text{m} \times 1,2\text{m}$.

Потребна количина енергије за производњу прозора од:

- алуминијумских профила је 6 GJ ,
- PVC профила 2980 MJ ($2,98\text{ GJ}$),
- профила од дрвета са алуминијумском облогом 1460 MJ ($1,46\text{ GJ}$),
- профила од дрвета 995 MJ ($0,995\text{ GJ}$) [17].

Ова студија показује да су алуминијумски и PVC профили одговорни за веће утицаје на животну средину. Тестови убрзаног старења су спроведени како би се тестирала издржљивост прозора на атмосферске утицаје.

Закључак прегледа овог рада је да алуминијумски профили изазивају највећи утицај на животну средину. Производња алуминијума емитује опасне загађиваче као што су угљен-диоксид (CO_2), сумпорну киселину (H_2SO_3) - кисели сумпор-диоксид, флуор (F) и захтева високу потрошњу енергије коју захтева процес производње [17].

PVC профили доприносе великој количини загађујућих материја током животног циклуса производа, док дрвени прозори представљају најмање оптерећење за животну средину.

Сви анализирани профили у различитим случајевима негативно утичу на животну средину. Тако је PVC профил осетљив на топлоту и UV зрачење. Дрвени профили у случају неадекватног одржавања такође негативно утичу на животну средину, док алуминијум захтева премазе високог квалитета како не би дошло до корозије (иако је отпорност на корозију висока).

Студија је показала да прозори од алуминијума и дрвета могу врло лако имати животни век дужи од 40 година. Комбинација профила од дрвета са алуминијумском облогом је најповољнија када је процена животног века у питању, делом због двоструке заштите од атмосферских утицаја (дрвени профил обложен алуминијумом). Животни век PVC профила процењен је на 25 година услед претпостављених временских утицаја [17].

4.1.2. LCA прозора у стамбеним објектима – рестаурација прозора

У оквиру рада “*Life Cycle Assessment of Residential Windows: Saving Energy with Window Restoration*” који су написали аутори Katherine M. Switala-Elmhurst, LEED AP и Philip D нови прозори су оцењени на основу њихових енергетских перформанси током фазе коришћења. При оцењивању су занемарени укупни утицаји на животну средину проузроковани производњом, одржавањем и одлагањем [18].

Због броја замена стамбених прозора који се данас јављају у Сједињеним Америчким Државама, постоји све већа потреба да се квантификује одрживост прозора као алтернатива замени прозора. Ова студија оцењује утицај дрвених прозора на животну средину тако што упоређује утицај рестаурације дрвених прозора и замену новим прозорима од PVC профила и прозора од алуминијумских профила [18].

Животни циклуси су моделирани помоћу *GaBi* софтвера и *TRACI 2.1* методе, помоћу које су анализиране последице процеса рестаурације и замене прозора са становишта заштите животне средине.

Резултати показују да рестаурација дрвених прозора има мање укупне утицаје на животну средину у односу на замену прозора новим прозорима од PVC профила и прозора од алуминијумских профила. У оквиру анализе животног циклуса евидентне су претпоставке о животном веку прозора које утичу на резултате анализе, јер правилно одржавање дрвених прозора знатно утиче на њихов дужи животни век [18].

4.1.3. Процена животног циклуса прозора у оквирима зелене градње

У раду аутора Ghada Elshafei и Abdelazim Negm, под насловом “*Life Cycle Assessment as a Decision Making for Window Performance Comparison in Green Building Design*”, процењује се животни циклус прозора од алуминијума и буковог дрвета.

Управо алуминијум и буково дрво представљају два најчешће коришћена материјала у Египту за производњу прозора, наглашавајући њихове предности и слабости. Процењени су прозорски профили на основу њихове производње, потрошње енергије и утицаја на животну средину [19].

Процес спаљивања производа од дрвета може узроковати веће утицаје ацидификације и еутрофикације од алуминијума.

У овој студији, разлике међу материјалима који су коришћени у производњи прозора су приказани на јасан начин. Резултати анализе су дрвене профиле представили као материјал који има позитивнији утицај на животну средину.

4.2. Упоредна LCA алуминијумског и PVC прозора

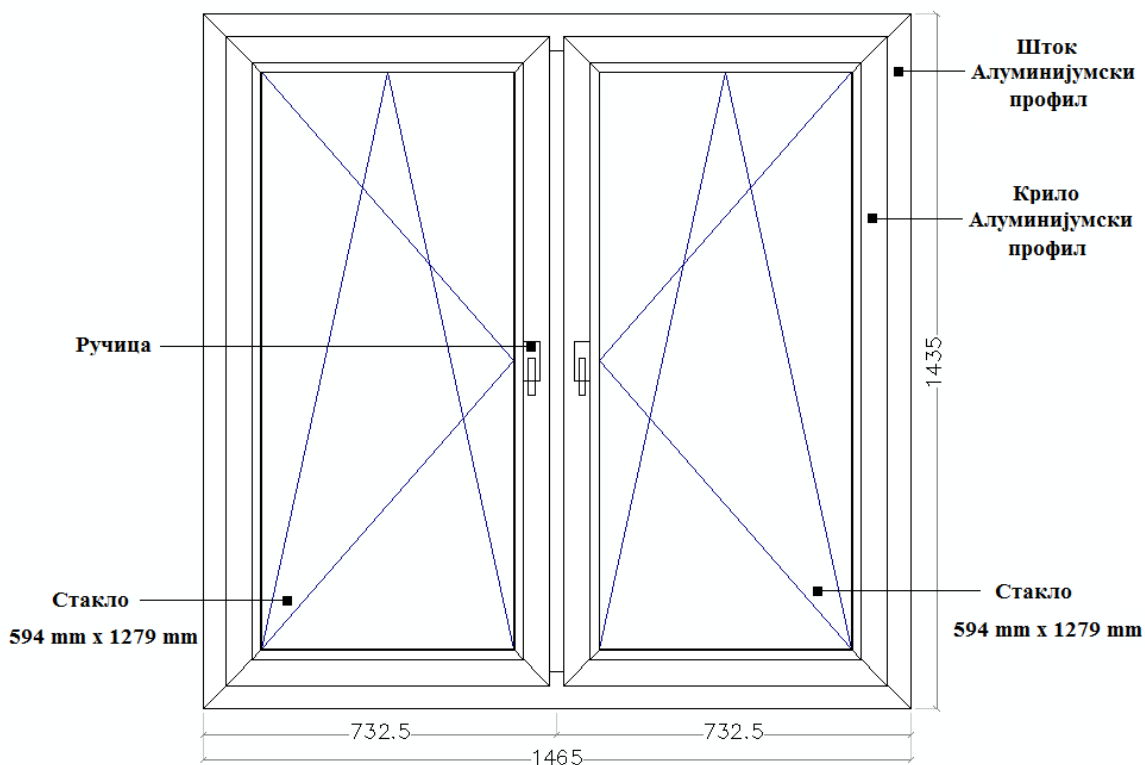
Најопширнија студија LCA прозора од алуминијумских и PVC профила, дата је у оквиру “*Product Design and Life Cycle Assessment*”, коју су урадили аутори Ireneusz Zbicinski, John Stavenuiter, Barbara Kozlowska и H.P.M. van de Coevering. “*Product Design and Life Cycle Assessment*” и представља упоредну анализу алуминијумског и PVC прозора која је спроведена помоћу софтверског пакета *SimaPro 5.0* и базе података *Eco Indicator 99* [20, 21].

Широку примену у индустрији прозора имају алуминијумски и PVC профили. Циљ LCA је да се пажљиво прикупљени подаци обраде, како би упоредни приказ алуминијумских и PVC профила представио утицај два производа током њиховог “животног” века. Анализом прикупљених података може се одредити који производ повољније утиче на животну средину, али се такође може утврдити који производни процеси представљају највеће оптерећење које трпи животна средина.

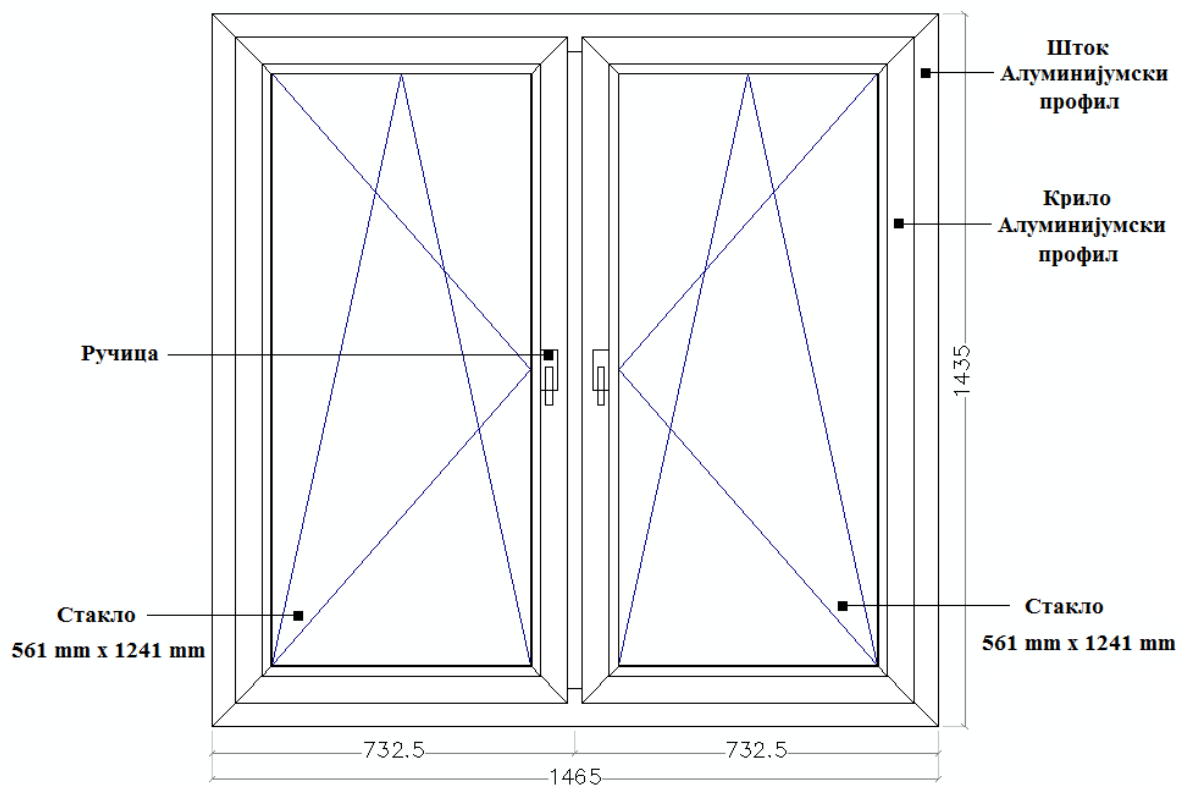
Анализа је спроведена помоћу софтверског пакета *SimaPro 5.0* и базе података *SimaPro Eco Indicator 99* и различитих индикатора у *SimaPro* библиотеци метода, као једној од најопштијих апликација.

Предмет анализе животног циклуса је потпуно дефинисана функционална јединица, представљена као симетрични двокрилни прозор, димензија 1465 mm x 1436 mm. Процењени животни век алуминијумског прозора је 50 година, док је животни век прозора направљеног од PVC профила процењен на 40 година [20]. Као резултат различитих процена животног века, у оквиру LCA алуминијумски прозор (слика 11) ће се упоређивати са 1,25 PVC прозора (слика 12).

LCA обухвата утицај транспорта материјала од произвођача до фабрике која производи готове производе, али и сам транспорт готових производа на релацији фабрика – крајњи корисник.



Слика 11. Алуминијумски прозор



Слика 12. PVC прозор

Поуздани подаци су предуслов за поуздан исход анализе животног циклуса.

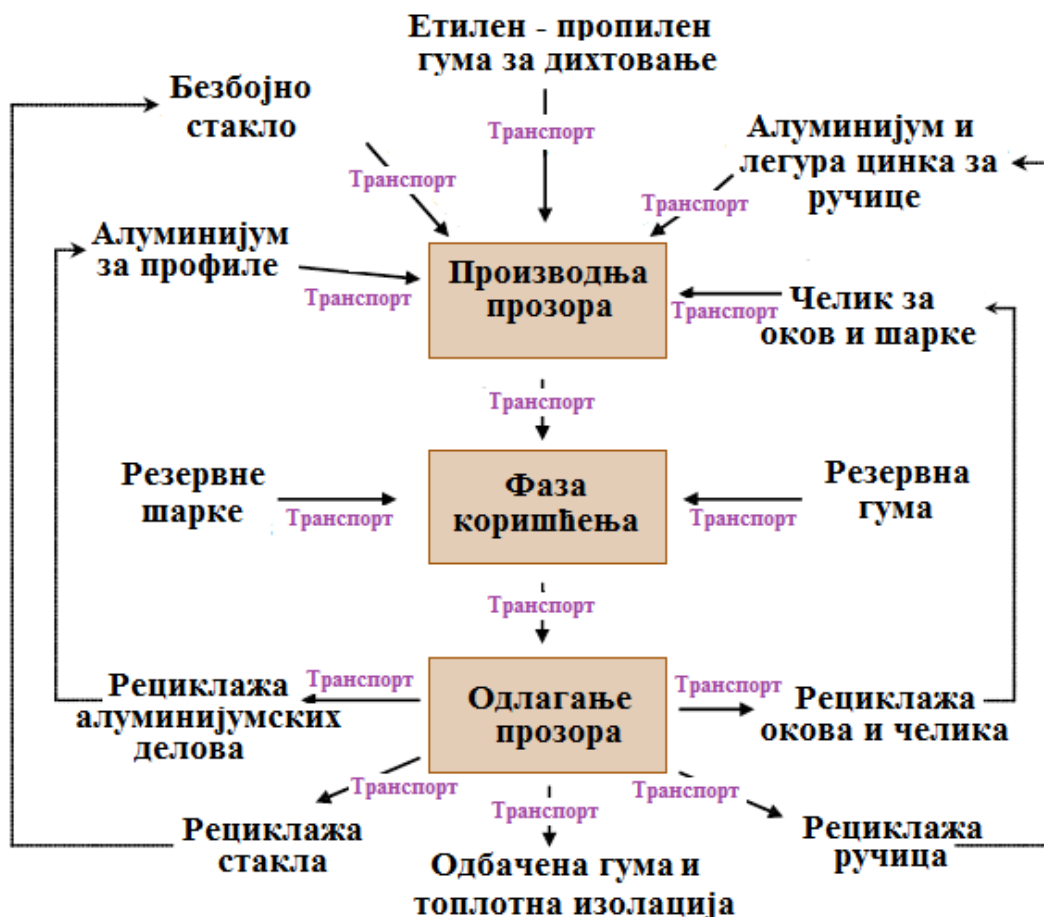
Студија *LCA* прозора од алуминијумских и *PVC* профила у оквиру “*Product Design and Life Cycle Assessment*” полази од претпоставке да утицај производа на животну средину треба да се учини мање утицајним, односно да се тај утицај смањи у свим фазама животног циклуса производа, укључујући еколошки (одрживи) дизајн производа који директно утиче на употребу сировина које се користе у процесу производње [22].

4.2.1. Анализа животног циклуса алуминијумског прозора

4.2.1.1. Инвентар животног циклуса алуминијумског прозора

Први корак анализе животног циклуса је дефинисање инвентара животног циклуса. Инвентар животног циклуса подразумева прикупљање података и процес прорачуна, поступак прорачуна и расподелу информација [20].

На слици 13, је приказана шема улаза и излаза кроз све фазе животног циклуса које су узете у обзир приликом анализе.



Слика 13. Шема улаза и излаза током анализе животног циклуса [20].

Током процењеног животног века алуминијумског прозора (50 година), потребно је обавити одређене сервисне активности у виду замене шарки (замена се обавља два пута током животног циклуса – на 20 година) и замене гуме за дихтовање (замена се обавља четири пута током животног циклуса – на 10 година). Шарке и гума за дихтовање имају сопствени животи циклус који је нешто краћи у односу на остале елементе. Након замене, шарке се рециклирају, док се гума одбацује [20].

Након процењеног животног века, алуминијумски делови, челик, стакло и ручице се могу рециклирати. Топлотна изолација, гума за дихтовање и ситни пластични елементи се спаљују, рециклирају или одлажу на депонију.

Укупна маса алуминијумског прозора износи 63,52 kg, што је узето као улазни параметар за анализу животног циклуса.

Алуминијумски елементи чине 27,37 kg расподељених на следећи начин:

- алуминијумски шток – 9,28 kg,
- алуминијумска пречка – 1,08 kg,
- алуминијумско крило – 14,51 kg,
- ручице (алуминијум са легуром цинка) – 0,5 kg,
- остали алуминијумски елементи (процена) – 2 kg [20].

Топлотна изолација која се поставља унутар алуминијумског профила је тежине 2,5 kg. Челичне елементе чине шарке и оков, чија је укупна тежина 2,75 kg.

Равно стакло – “*Float*” је потпуно прозирно стакло које је данас најраспрострањеније у сектору грађевинарства и све више се примењује било да се ради о ентеријеру или екстеријеру, односно фасадама, надстрешницама, прозорима, вратима, преградним позицијама, оградама и слично. Ово стакло је добило назив од енглеске речи “*Float*” што значи плутати. Стакло се производи по такозваном “*Float*” поступку у оквиру ког се стакло разлије и плута по површини растопљеног калаја у лименој посуди. Финални производ су високо квалитетне и идеално равне табле од стакла које се примењују у индустрији врата и прозора.

Гума која се користи за израду готовог производа је укупне тежине 0,5 kg.

Приказ техничких података узетих као улазни параметар за *LCA* алуминијумског прозора дат је у табели 4.

Табела 4. Технички подаци за *LCA* алуминијумског прозора (маса елемената) [20].

Прозор од алуминијумских профила			
	Дужина (m)	Маса (m/kg)	Маса (kg)
Шток	5,8	1,6	9,28
Пречка	1,367	0,79	1,08
Крило	8,29	1,75	14,51
Остали алуминијумски елементи (процењено)			2
Топлотна изолација			2,5
Додатни елементи			
	Материјал	Количина	Маса (kg)
Гума	Етилен-пропилен гума	~ 32 m	0,5
Стакло	“ <i>Float</i> ” стакло	Два двострука стакла (4 mm +16 mm +4 mm) 594 mmx1279 mm.	30,4
Шарке и оков	Челик	1 комплет	2,75
Ручице	Алуминијум и легура цинка	1 сет	0,5
Укупно			63,52

Транспорт елемената прозора је неизоставни улазни параметар за почетак *LCA* и приказан је у табели 5.

Уместо дељења транспорта према одређеним групама објеката, претпоставља се да цео прозор транспортује на удаљеност од 50 km.

Табела 5. Транспортна удаљеност елемената алуминијумског прозора до произвођача.

Елемент прозора	Удаљеност (km)
Алуминијумски профили	254
Шарке и оков	600
Стакло	320

Услед недостатака потребних података, следеће операције у *LCA* ће бити занемарене:

- чишћење прозора,
- премаз алуминијумских профила,
- лепак за спајање елемената,
- полиуретанска пена и заптивни силикон (уградња готове позиције) и
- елементи потребни за интеграцију стакла (мале количине бутила, алуминијумска лајсна и дистанцери) [20].

4.2.1.2. Процесно стабло

Изузетно важан корак у *LCA* анализи јесте генерисање процесног стабла које се формира на основу анализе инвентара и свих доступних техничких информација. База података која се користи за формирање *LCA* алуминијумског прозора дефинисана је процесним стаблом које је саствни део *SimaPro 5.0* софтвера [20].

Табела инвентара састоји се од 595 ставки и обухвата велики проток информација који се односи на улазне и излазне параметаре који утичу на животни циклус алуминијумског прозора.

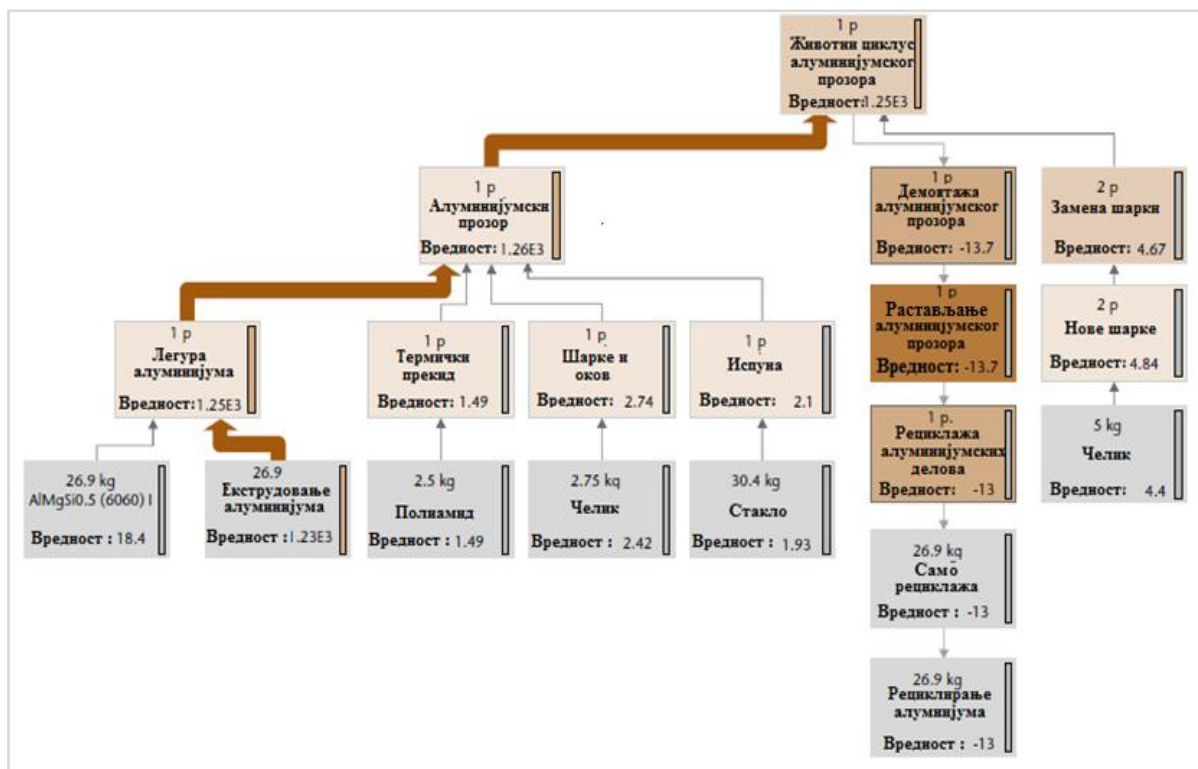
Како би процесно стабло *LCA* било транспарентно, врши се груписање одређених процеса улазних и излазних информација. Груписање информација укључује индикаторе животне средине и животне фазе циклуса израчунате према методи *Eco Indicator 99* [10].

Процесно стабло се састоји од процесних кутија које заједно чине анализу животног циклуса. Процесна кутија садржи следеће информације:

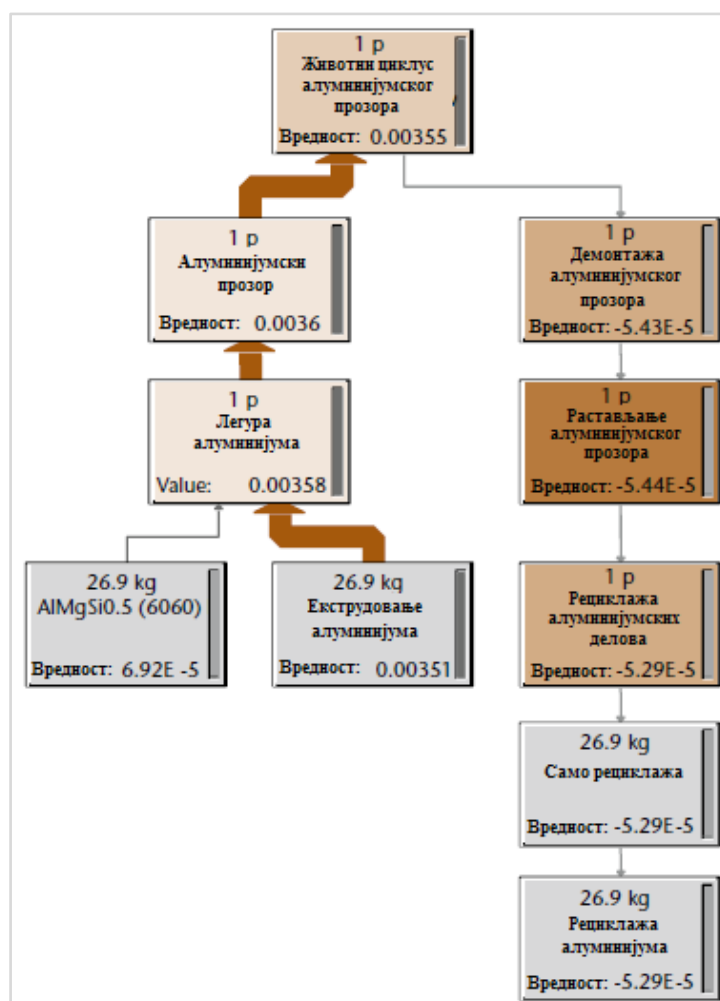
- вредност израчунате величине (парцијални утицај на животну средину, одабране емисије, нормализовани или тежински индикатори оштећења, итд.),
- количину (у комадима, килограмима, литрима, итд.),
- назив материјала,
- процес фазе животног циклуса (нпр. алуминијумска легура, челична легура итд.),
- еколошки термометар [20].

Поједностављено процесно стабло које укључује само елементе чији је утицај на животну средину већи од 0,1% је приказано на слици 14, док је на слици 15 приказано поједностављено процесно стабло које укључује само елементе са утицајима на животну средину који су већи од 1%.

Негативне вредности у процесним кутијама произлазе из чињенице да су емисије избегнуте због рециклирања или рекулерације енергије одузете од укупног утицаја на животну средину [20].

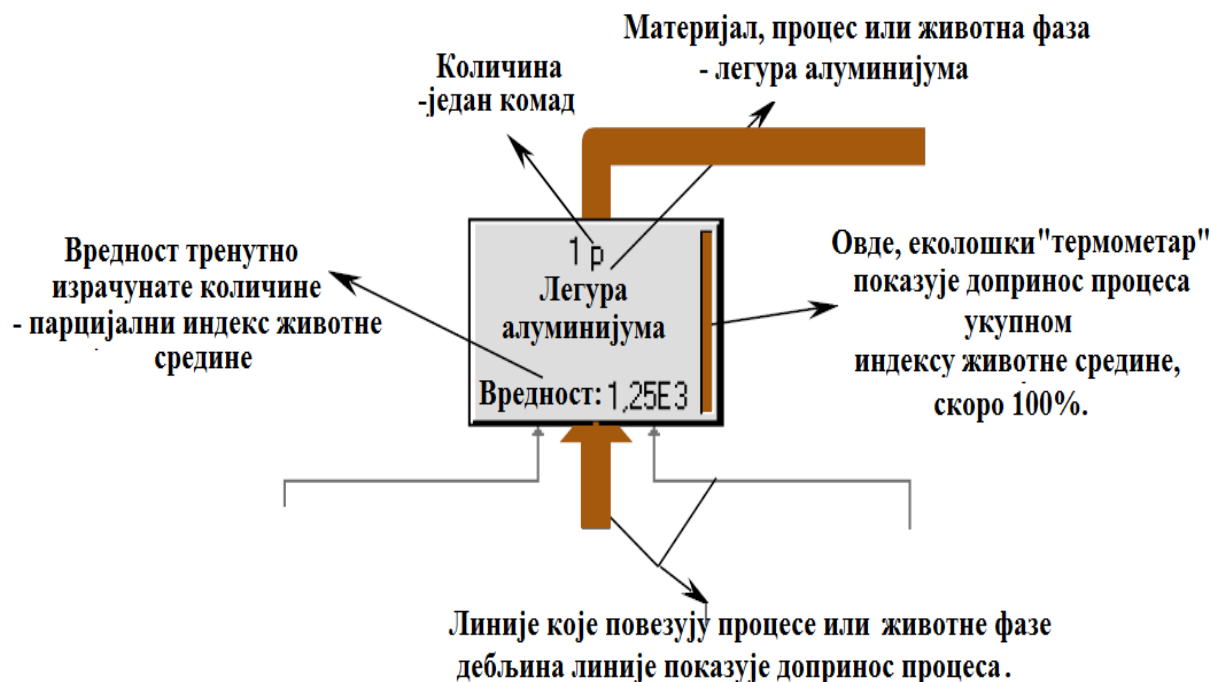


Слика 14. Процесно стабло –утицај на животну средину већи од 0,1% [20].



Слика 15. Поједностављено процесно стабло – утицај на животну средину већи од 1%.

На слици 16. приказана је једна процесна кутија за израчунавање утицаја на животну средину.



Слика 16. Процесна кутија [20].

Процесна кутија приказује начин на који се може израчунати вредност два важна параметра: утицаја на животну средину и еколошког “термометра”.

Утицај на животну средину приказује удео (утицај) елемента у стаблу, док еколошки “термометар” означава релативни допринос процеса укупном утицају на животну средину.

Анализом свих процеса у стаблу може се закључити да процес екструзије алуминијума има највећи утицај на животну средину. Његов удео у укупном утицају на животну средину је преко 95%. У ситуацији када један процес у великој мери доминира, стабло процеса се може узети у обзир што доводи до лакше и једноставније LCA.

4.2.1.3. Карактеризација – утицаји и категорије оштећења

Карактеризација представља корак у LCA који приказује све улазне и излазне параметре који утичу на животну средину [20].

Како би сви улазни и излазни параметри били прегледни, организовани су кроз 11 категорија утицаја у складу са методологијом *Eco Indicator 99*. Карактеризација показује релативну јачину нежељених утицаја на животну средину и њихов допринос сваком проблему животне средине.

Рачунарске процедуре које се користе за прикупљање података који утичу на животну средину, примењују еколошке моделе за упоређивање различитих доприноса истом еколошком проблему. Овај задатак се остварује коришћењем фактора еквиваленције који су садржани у сваком моделу [20].

Анализа табеле инвентара (за производњу алуминијумског прозора) омогућава да се одреди које супстанце највише доприносе свакој од 11 категорија утицаја.

Категорије утицаја настале производњом алуминијумског прозора су следеће:

- 1) Канцерогене супстанце: углавном никл, арсен и кадмијум, али и други метали који се испуштају у воду и ваздух. Они су повезани са употребом електричне енергије која се користи у процесу екстудовања алуминијумских профила. Електрична енергија се добија углавном коришћењем антрацит угља.
- 2) Респираторне супстанце (VOC): испарљива органска једињења, сумпор диоксид и азотни оксиди који настају услед производње алуминијумских легура, електричне енергије и екструзије алуминијума.
- 3) Респираторне супстанце: испарљива неорганска једињења.
- 4) Климатске промене: емисије CO₂, NO₂ и метана током екструзије алуминијума и производње електричне енергије за тај процес.
- 5) Радијација (зрачење): замена шарки је најутицајнија у овој категорији. Допринос се огледа кроз емисију изотопа и то углавном ¹⁴C у ваздух и ¹³⁷Cs у воду. Највећи допринос ових емисија настаје приликом производње легуре која се користи за производњу шарки и приликом производње гуме за боље дихтовање.
- 6) Озонски слој: овај утицај је директно везан за емисију супстанце HALON-1301 (CF₃BR), која се емитује кроз процес производње електричне енергије.
- 7) Екотоксичност: углавном утиче на животну средину кроз емисије никла и других метала насталих производњом електричне енергије.
- 8) Ацидификација / еутрофикација: емисије азотних оксида и сумпор-диоксида које су повезане са екструзијом алуминијума и производњом електричне енергије.
- 9) Употреба земљишта: ова категорија утицаја се односи на производњу нуклеарне енергије која се делом користи за производњу електричне енергије потребне за екструзију алуминијума.
- 10) Минерали: на смањење минералних сировина углавном утиче производња легуре алуминијума. Рециклажа алуминијума је такође од великог значаја, јер се алуминијумски отпад третира као сировина (боксит) у производњи. Овим процесом се одузима утицај бокситне руде за поновну производњу алуминијума због његове рециклаже.
- 11) Фосилна горива: Већина фосилних горива (углавном сирови нафта и природни гас) користе се у екструзији алуминијума.

Карактеризација је квантитативна анализа ефеката сваке фазе животног циклуса на сваку категорију утицаја. Резултати карактеризације су апсолутне вредности утицаја изражених такозваним ефектним резултатима или утицајима који су приказани у табели 6 [20].

Табела 6. Утицај алуминијумског прозора на животну средину [20]

Категорија утицаја	Јединица	Укупно	Алуминијумски прозор	Растављање алуминијумског прозора	Замена шарки	Замена гуме
Канцерогене супстанце	DALY	0,00113	0,00112	-4,91E-6	1,32E-5	1,73E-6
Респираторне супстанце(VOC): органска једињења		1,67E-5	1,76E-5	-8,27E-7	-1,69E-7	7,62E-8
Респираторне супстанце: испарљива неорганска једињења.		0,00895	0,00919	-0,00035	0,000107	4,07E-6
Климатске промене		0,00355	0,0036	-5,43E-5	7,55E-6	2,15E-6
Радијација (зрачење)		9,88E-8	4,01E-8	x	4,31E-8	1,57E-8
Озонски слој		1,48E-6	1,44E-6	-1,84E-9	1,61E-8	1,65E-8
Екотоксичност	PAF*m ² (годишње)	958	944	-17,3	29,5	2,08
Ацидификација / еутрофикација	PDF*m ² (годишње)	321	326	-7,94	2,19	0,12
Употреба земљишта		598	597	0,169	0,716	0,135
Минерали	MJ	28	74,9	-65	18	0,036
Фосилна горива	(вишак)	2,53E4	2,53E4	-73,1	30,3	19,7

* DALY (Disability Adjusted Life Years) - Године прилагођавања инвалидности.

* PAF*m² (Potentially Affected Fraction) - Потенцијално погођена фракција врсте.

* PDF*m² (Potentially Disappeared Fraction) – Потенцијално нестала фракција врсте.

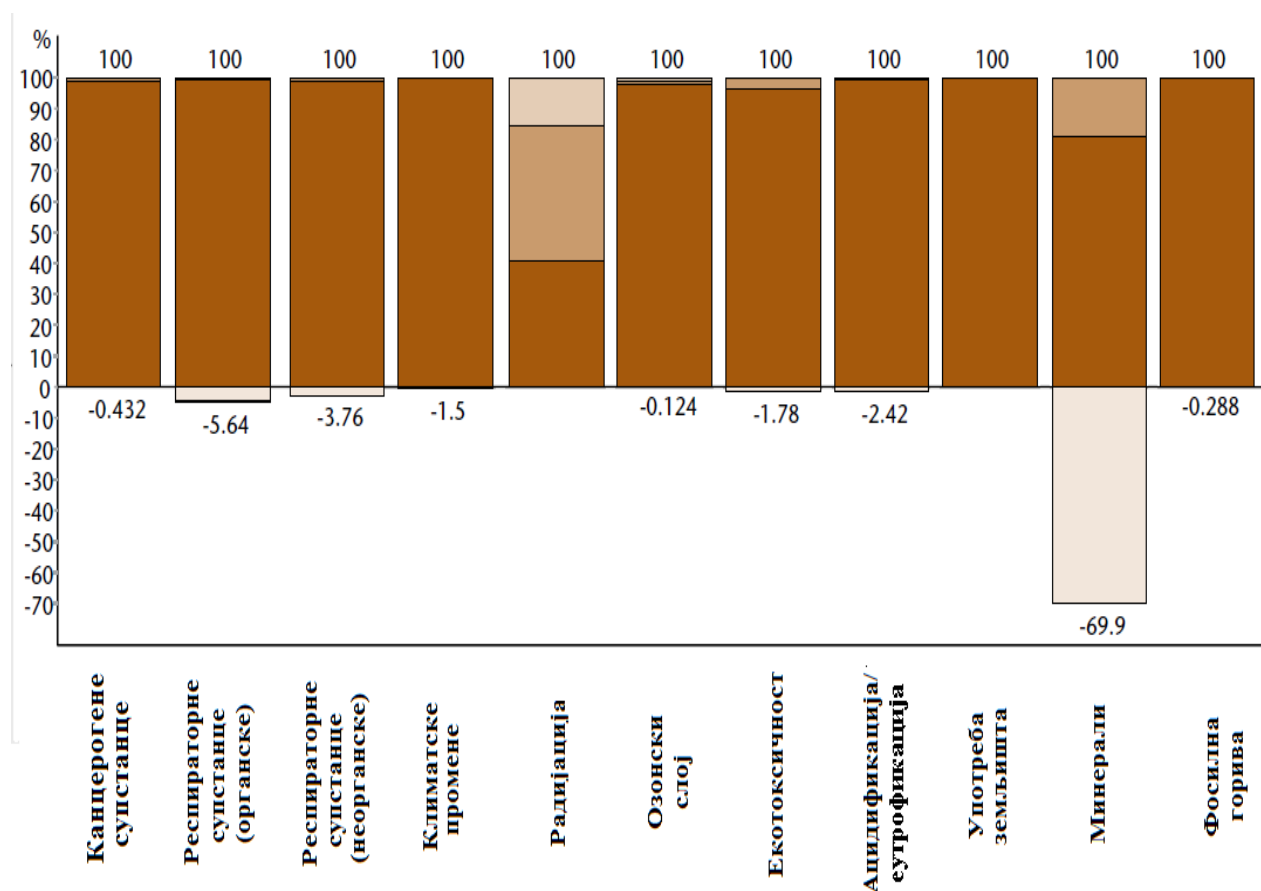
* MJ (вишак)– (Изражава се као вишак енергије потребне за будуће активности [MJ]).

* DALY (Disability Adjusted Life Years) - Године прилагођавања инвалидности. DALY представља збир година потенцијалног живота изгубљеног због преране смртност и годинама продуктивног живота изгубљеног због инвалидитета.

* PAF*m² (Potentially Affected Fraction) - Потенцијално погођена фракција врсте. PAF је параметар за одређивање екотоксичности и представља фракцију врста изложених изнад концентрације без ефекта (NOEC).

* PDF*m² (Potentially Disappeared Fraction) – Потенцијално нестала фракција врсте. PDF је стопа губитка врсте (или у еколошким терминима стопа изумирања) у одређеној области земљишта или запремине воде током одређеног времена због ацидификације или еутрофикације.

Графички приказ карактеризације је дат на слици 17.



Слика 17. Резултати фазе карактеризације [20].

На слици 17. су приказани резултати фазе карактеризације као релативни утицај фаза животног циклуса изражених у процентима.

Референтна тачка (100%) је изједначена са износом целог животног циклуса. Фаза карактеризације дефинише процес производње профила као најважнију фазу у анализи животног циклуса. Утицај производње алуминијумских профила на животну средину представљен је тамно браон бојом. Утицај фазе производње покрива готово 100% оптерећења животне средине у 9 од 11 категорија. Узрок великог утицаја фазе производње је у чињеници да је велика потрошња електричне енергије неопходна за процес екструзије алуминијума, што доводи до емисије штетних честица у ваздух, воду и земљиште [20].

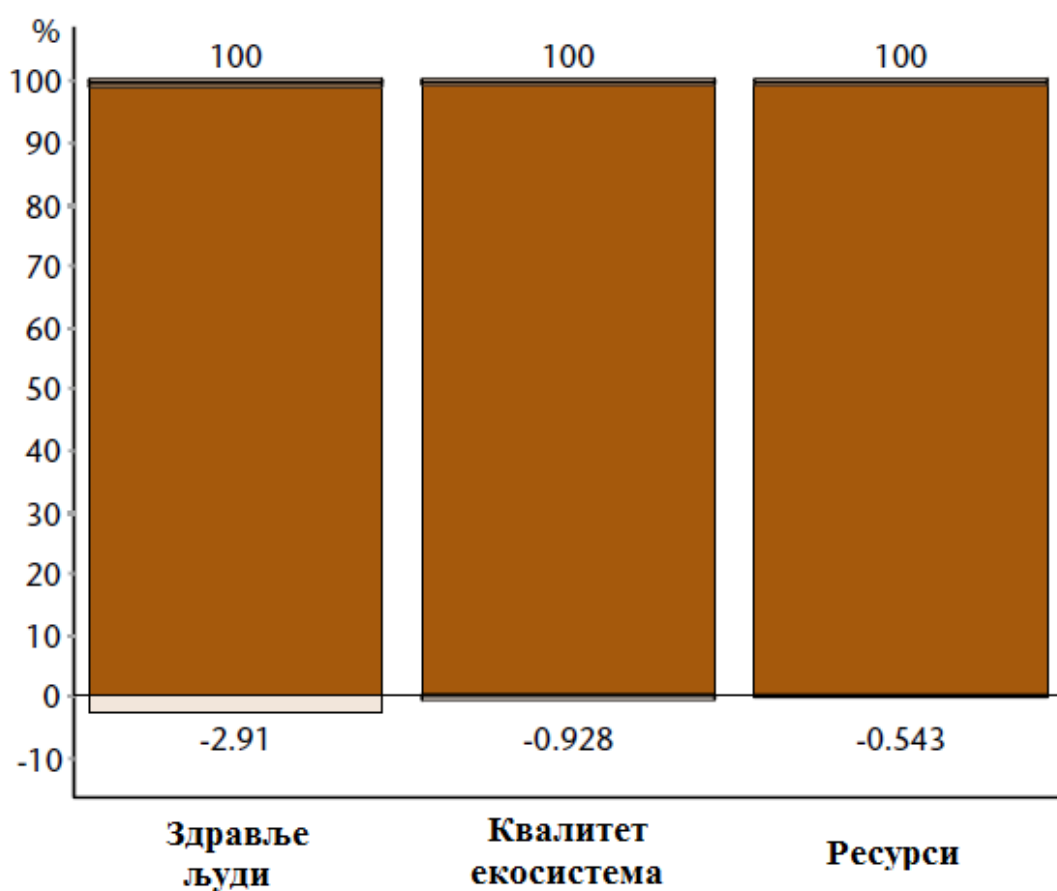
Једино категорије утицаја, радијација (зрачење) и минерали имају значајан утицај на животну средину у фази коришћења и одлагања. Утицај фазе коришћења проузрокован је заменом шарки, а фазе одлагања процесом демонтаже алуминијумског прозора.

Негативна вредност (минерали) на приказаној слици 17. у фази коришћења узрокована је процесом рециклаже, који је итекако повољно утиче на квалитет животне средине.

У циљу постизања транспарентних резултата *LCA*, 11 категорија утицаја фазе карактеризације се групише у три категорије штетности, које се разматрају у оквиру *Eco Indicator 99*:

- 1) Здравље људи: канцерогене супстанце, респираторне емисије (неорганска и органска једињења), климатске промене, зрачење, озонски слој. (Изражава се као: година прилагођавања инвалидности).
- 2) Квалитет екосистема: екотоксичност, ацидификација/еутрофикација, употреба земљишта. (Изражава се као: потенцијални настанак фракција).
- 3) Ресурси: минерали и фосилна горива. (Изражава се као вишак енергије потребне за будуће активности [*МЈ*]) [20].

На слици 18. дат је приказ утицаја три категорије штетности.



Слика 18. Три категорије штетности [20].

Нумеричке вредности представљају проценат укупног ефекта у три категорије штетности. Очигледно је да фаза производње (тамно браон) утиче у највећој мери на животну средину и здравље људи.

4.2.1.4. Нормализација

Нормализација се врши како би резултати еколошког профила били међусобно упоредиви. Нормализовани резултат је однос резултата неког ефекта посматраног производа на годишњем нивоу, и ефекта тог истог резултата у одређеном времену и на одређеном подручју [20].

Eco Indicator 99 се бави нормализацијом еколошког профила према вредностима које представљају штетност за животну средину (по становнику у датој области годишње). Како би резултат нормализације за све категорије био валидан, сви утицаји на животну средину се множе коефицијентима који се добијају из статистичке анализе глобалних емисија (у датој области годишње) [10].

Према *Eco Indicator 99* утицаји који доводе до погоршања здравља људи су помножени са фактором 65,1. Утицаји који доводе до нарушавања екосистема помножени су фактором $1,95 \cdot 10^{-4}$, као и утицаји који се односе на ресурсе [10, 20].

Изузетак у процесу нормализације представља екотоксичност чији се резултат множи са коефицијентом 0,1 пре нормализације.

Поступак прорачуна нормализације према индикаторима у *LCA* алуминијумског прозора приказан је у оквиру табеле 7.

Табела 7. Поступак нормализације – индикатори

Категорија утицаја	Јединица	Карактеризација			Нормализација
Канцерогене супстанце	DALY	0,00113	*65,1		0,0737
Респираторне супстанце: (VOC)		1,67E5			0,00109
Респираторне супстанце: испарљива неорганска једињења.		0,00895			0,583
Климатске промене		0,00355			0,231
Радијација (зрачење):		9,88E*6			6,43E-6
Озонски слој		1,48E-6			9,6E-5
Екотоксичност	PAF*m ² (годишње)	958	*0,1	*1,95*10 ⁻⁴	0,0187
Ацидификација / еутрофикација	PDF*m ² (годишње)	321	*1,95*10 ⁻⁴		0,0625
Употреба земљишта		598			0,117
Минерали	MJ (вишак)	28	*1,19*10 ⁻⁴		0,0333
Фосилна горива		2,53E4			3,01

* DALY (Disability Adjusted Life Years) - Године прилагођавања инвалидности.

* PAF*m² (Potentially Affected Fraction) - Потенцијално погођена фракција врсте.

* PDF*m² (Potentially Disappeared Fraction) – Потенцијално нестала фракција врсте.

* MJ (вишак)– (Изражава се као вишак енергије потребне за будуће активности [MJ]).

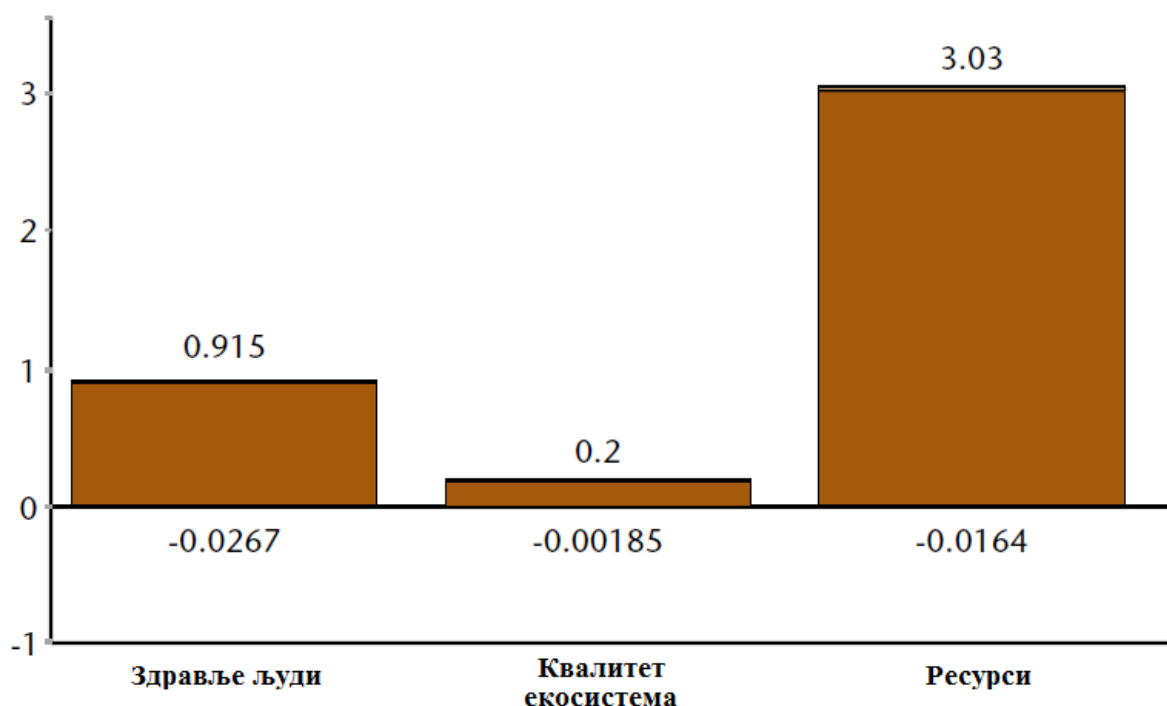
Фосилна горива у фази нормализације имају далеко највећи утицај на животну средину, након којих су респираторне супстанце – неорганска једињења најутицајније на животну средину.

Прорачун нормализације који се односи на три категорије штетности у LCA алуминијумског прозора приказан је у оквиру табеле 8.

Табела 8. Поступак нормализације – категорије штетности

Категорија штетности	Карактеризација		Нормализација
Здравље људи	0,0137	*65,1	0,889
Квалитет екосистема	1,01E3	* $1,95 \cdot 10^{-4}$	0,198
Ресурси	2,53E4	* $1,19 \cdot 10^{-4}$	3,01

На слици 19. графички је представљено оптерећење животне средине, узроковано производњом алуминијумског прозора.



Слика 19. Оптерећење животне средине – алуминијумски прозор [20].

Нормализација у случају три основне категорије штетности (здравље људи, квалитет екосистема, ресурси) указује на неопходно смањење потрошње ресурса (фосилних горива) чија је примена заступљена у процесу екструзије алуминијума. Процес екструзије алуминијума директно утиче на повећање неповољних утицаја у категорији ресурса.

Следећи најважнији еколошки утицаји на животну средину су емисија штетних гасова стаклене баште, као и емисија респираторних неорганских једињења која утичу на здравље људи.

4.2.1.5. Агрегација – тежинско одмеравање

Агрегација (тежинско одмеравање) представља корак у коме се различите категорије утицаја тежински одмеравају да би се поредиле између себе, тј да би се поредили њихови релативни утицаји. Као и нормализација, процес агрегације се врши на нивоу

процене нивоа оштећења, тако што се множе нормализовани еколошки профили са низом агрегационих фактора који карактеришу посматрани ефекат [20].

Eco Indicator 99 подразумева следеће агрегационе (тежинске) факторе који се односе на категорије штетности животне средине:

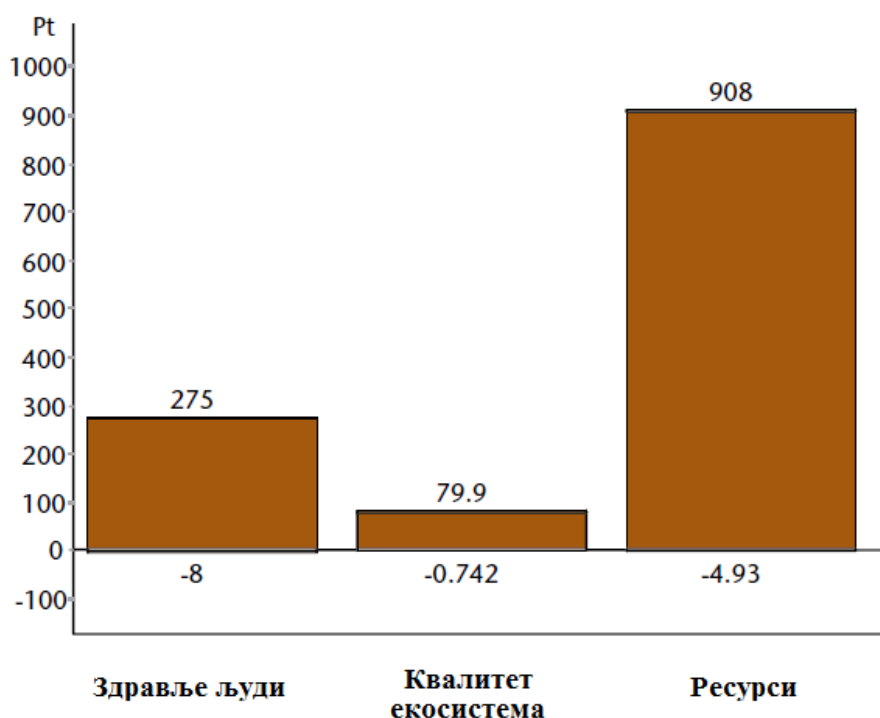
- здравље људи – 300,
- квалитет екосистема – 400,
- ресурси – 300 [10, 20]..

Eco Indicator 99 на основу тежинских фактора и коефицијената нормализације формира базу података за све три категорије оптерећења животне средине. У табели 9. приказан је поступак, на основу кога се формира тежински коефицијент.

Табела 9. Формирање тежинских коефицијената

Категорија штетности	Нормализација	Тежински фактор	Тежински корфицијент
Здравље људи	0,889	*300	267
Квалитет екосистема	0,198	*400	79,1
Ресурси	3,01	*300	903

Нормализација и тежинско одмеравање у моделу *Eco indicator 99* изражавају се у еко тачкама (Pt). Графичко поређење тежинских коефицијената приказано је на слици 20.



Слика 20. Тежински коефицијент [20].

Упоређивањем резултата нормализације и тежинских коефицијената, долази се до закључка да је општи резултат сличан нормализацији. Највећи утицај на животну

средину се види кроз индикаторе фосилних горива и респираторних неорганских материја.

Разлика између нормализације и фазе агрегације је у размери утицаја. Разлика се јавља услед претпоставке да агрегациони коефицијенти дају приоритет квалитету екосистема у односу на здравље људи и употребу ресурса.

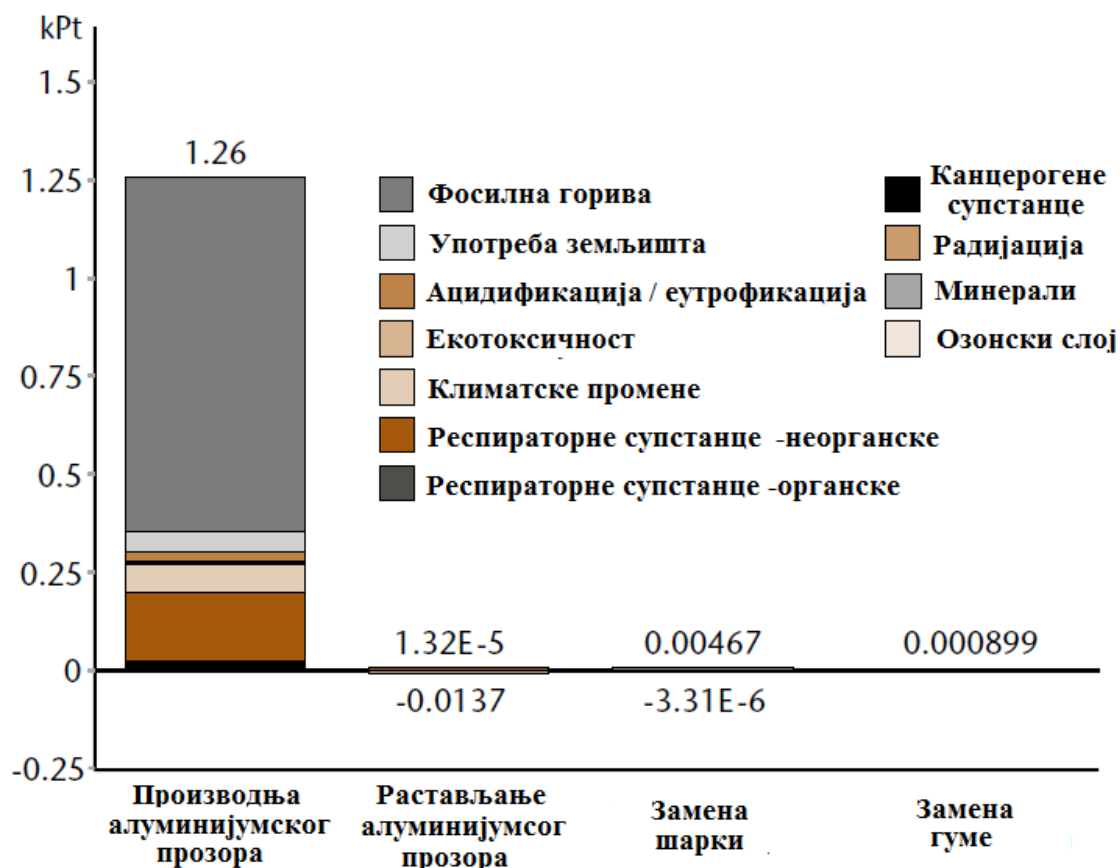
Негативне вредности представљају улазне и излазне параметре током производног процеса који се не испуштају у атмосферу услед процеса рециклаже и рекулпације енергије [20].

4.2.1.6. Формирање јединственог резултата

Eco Indicator 99 као метода омогућава формирање јединственог резултата – еколошког утицаја у процесу *LCA* алуминијумског прозора. Јединствени резултат постиже се сабирањем свих појединачних еколошких оптерећења или парцијалних утицаја за све процесе животног циклуса [20].

Рачунарски поступак се обавља тако што се врши сабирање тежинских коефицијената у свим фазама животног циклуса, почевши од фазе производње алуминијумског прозора, преко фазе монтаже, употребе, сервисирања и крајњег процеса рециклаже или одлагања производа.

Резултат може бити приказан парцијално, тако што обухвата све категорије оптерећења животне средине појединачно, као што је учињено на слици 21 [20].

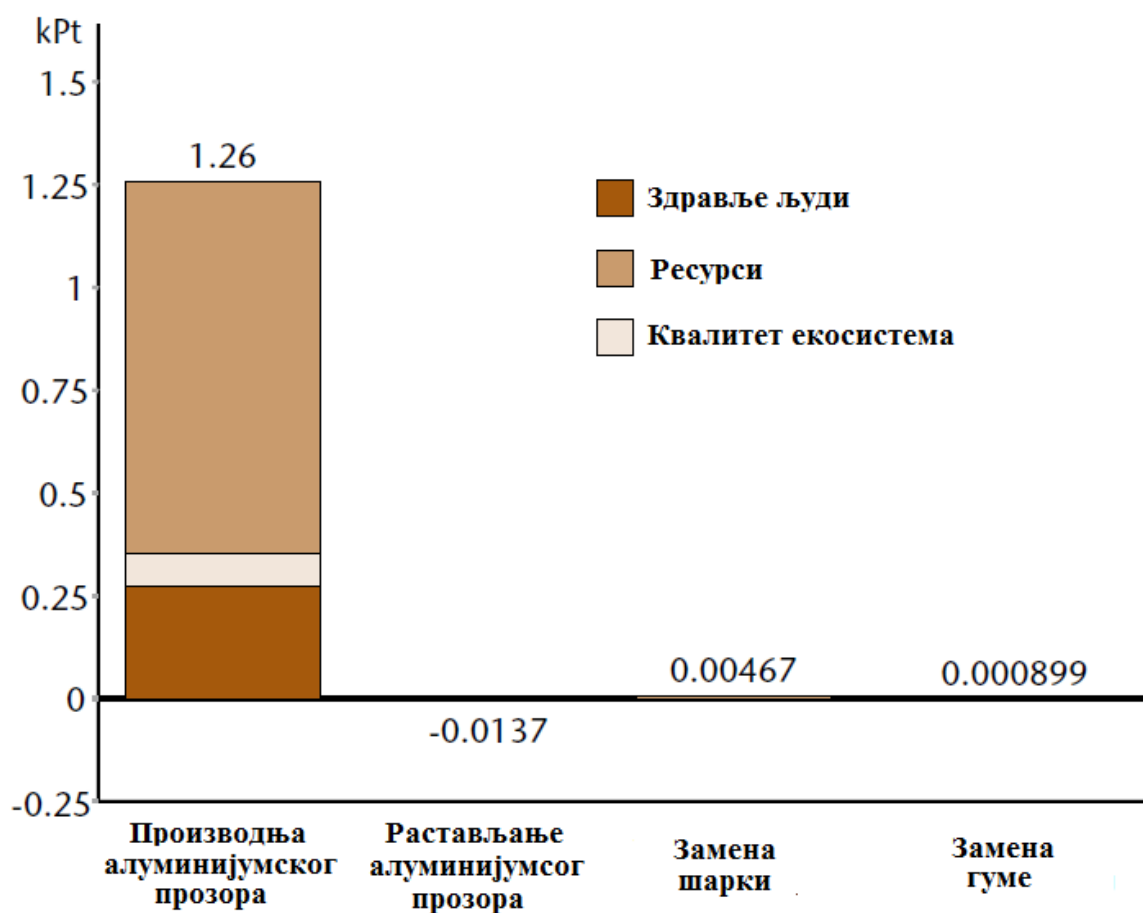


Слика 21. Јединствен резултат *LCA* алуминијумског прозора [20].

Утицај на животну средину је 1260 еко тачака, од чега је готово 100% додељено фази производње [20].

Производња алуминијумског прозора негативно утиче углавном на људско здравље и смањење ресурса (слика 22). Негативна вредност код растављеног прозора произилази из процеса рециклаже алуминијума и стакла.

Иста анализа за категорије утицаја показује највеће резултате у категорији фосилних горива и категорији респираторних неорганских супстанци.

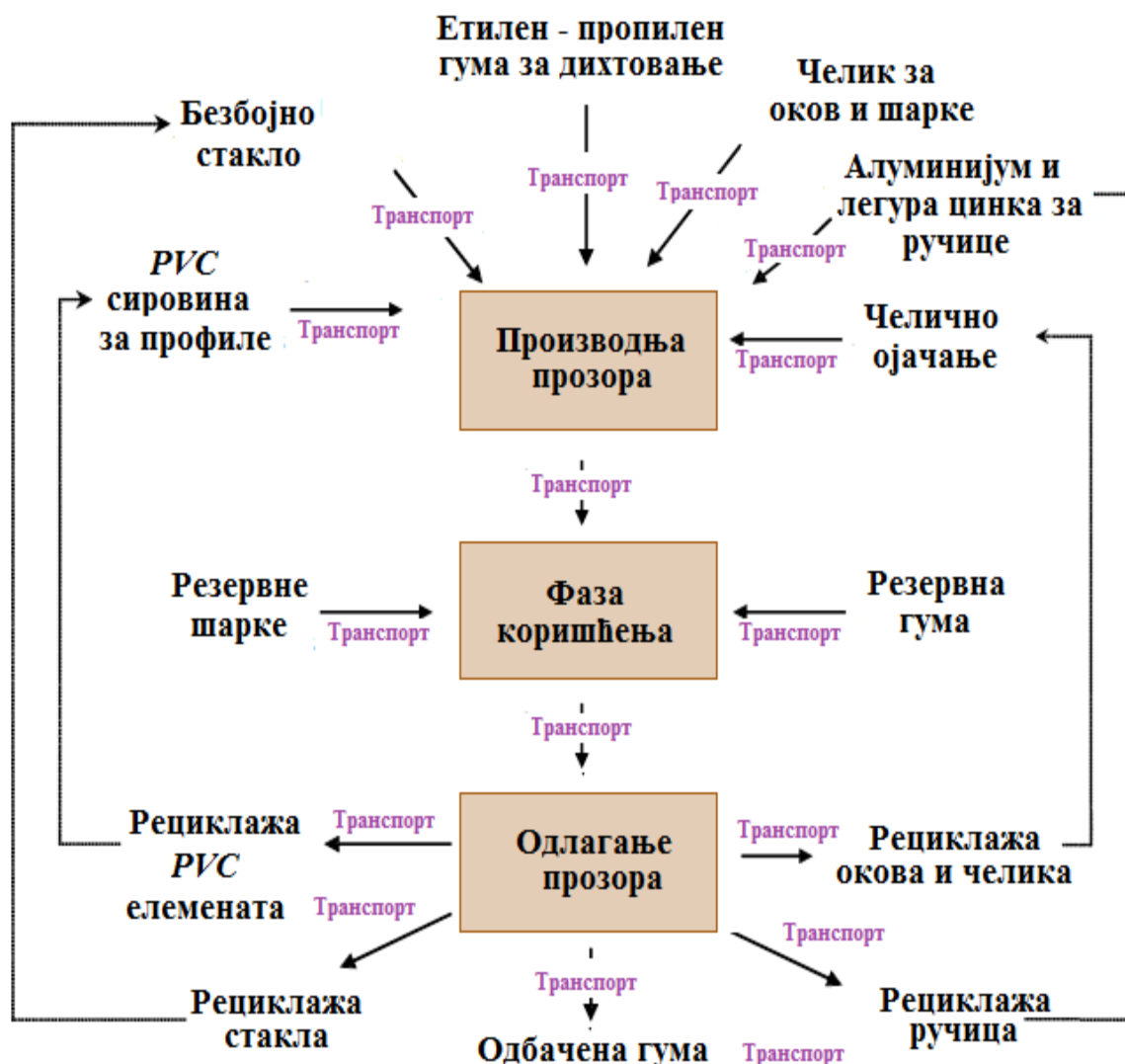


Слика 22. Јединствен резултат *LCA* алуминијумског прозора [20].

4.2.2. Анализа животног циклуса *PVC* прозора

4.2.2.1. Инвентар животног циклуса алуминијумског прозора

LCA анализа за *PVC* прозор је извршена на исти начин као и за алуминијумски прозор. Илустративни приказ улазних и излазних параметара у свим фазама животног циклуса дат је на слици 23 [20].



Слика 23. Шема улаза и излаза током анализе животног циклуса [20].

Током процењеног животног века *PVC* прозора (40 година), потребно је обавити одређене сервисне активности у виду замене шарки (замена се обавља једном током животног циклуса – након 20 година) и замене гуме за дихтовање (замена се обавља три пута током животног циклуса – на 10 година). Шарке и гума за дихтовање имају сопствени животи циклус који је нешто краћи у односу на остале елементе. Након замене, шарке се рециклирају, док се гума одбацује. Након процењеног животног века, *PVC* делови, челик, стакло и ручице се могу рециклирати. Гума за дихтовање и ситни пластични елементи се спаљују, рециклирају или одлажу на депонију.

Сви технички подаци (за *PVC* прозор) који су прикупљени од стране произвођача *PVC* прозора приказани су у табели 10.

Табела 10. Технички подаци *PVC* прозора [20].

Прозор од <i>PVC</i> профила			
	Дужина (m)	Маса (m/kg)	Маса (kg)
Шток	5,8	1,6	8,12
Пречка	1,4	0,79	2,352
Крило	8,2	1,75	11,729
Стакло лајсна	7,3	0,25	1,825
Остали елементи			~ 0
Додатни елементи			
	Материјал	Количина	Маса (kg)
Ојачање	Угљенични челик	14 m	11,9
Гума	Етилен-пропилен гума	~ 16,4 m	0,25
Стакло	"Float" стакло	Два двострука стакла (4 mm +16 mm +4 mm) 561 mm x 1241 mm.	27,8
Шарке и оков	Челик	1 сет	2,75
Ручице	Алуминијум и легура цинка	1 сет	0,5
Укупно			67,2

Приказани технички подаци су узети у обзир приликом анализе животног циклуса *PVC* прозора.

Укупна маса *PVC* прозора је 67,4 kg, од чега је 24 kg тежина *PVC* пофила и осталих *PVC* елемената. Додатни елементи су укупне тежине 43,2 kg од чега је:

- ојачање: 11,9 kg,
- гума: 0,25 kg,
- стакло: 27,8 kg,
- шарке и оков: 2,75 kg,
- ручице: 0,5 kg [20].

Транспорт елемената прозора је неизоставни улазни параметар за почетак *LCA* и приказан је у табели 11.

Табела 11. Транспортна удаљеност елемената *PVC* прозора до произвођача [20].

Елемент прозора	Удаљеност (km)
<i>PVC</i> профили	600
Ојачање	400
Шарке и оков	600
Стакло	320

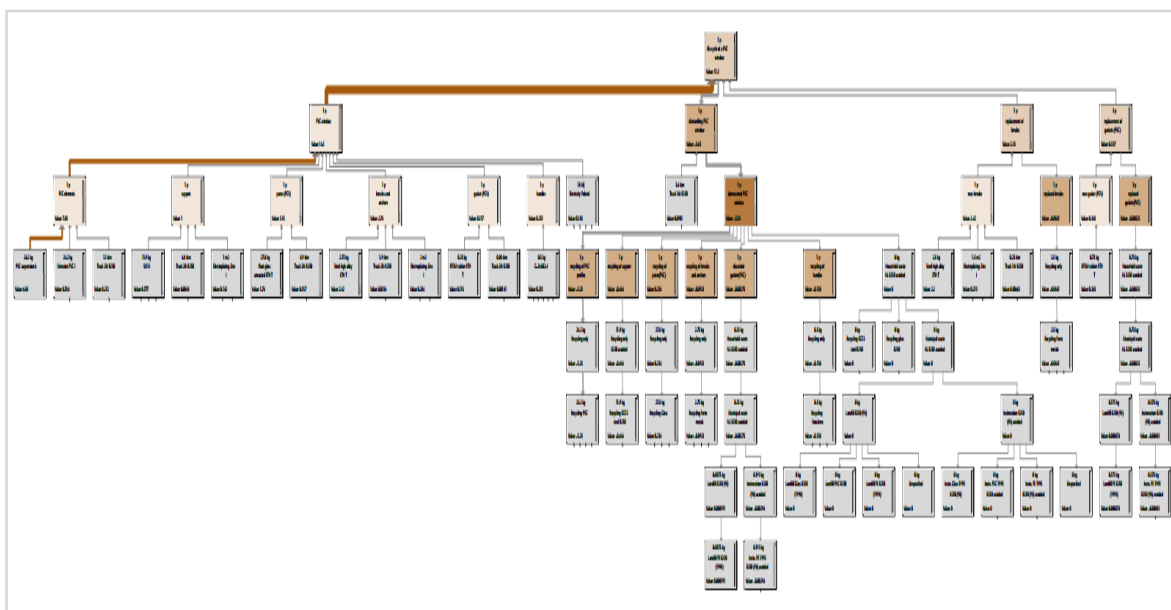
Услед недостатака потребних података, следеће операције у *LCA* ће бити занемарене:

- чишћење прозора,
- полиуретанска пена и заптивни силикон (уградња готове позиције) и
- елементи потребни за интеграцију стакла (мале количине бутила, алуминијумска лајсна и дистанцери) [20].

4.2.2.2. Процесно стабло

Процесно стабло за *PVC* прозор је садржајно и обимно. Садржај стабла обухвата 588 ставки које је потребно обрадити. Другим речима у току животног циклуса евидентан је велики број ставки које представљају улазне и излазне утицаје на животну средину. Софтвер *SimaPro 5.0* при формирању стабла у обзир узима анализу инвентара и све доступне техничке иновације [22].

Шематски приказ стабла анализе животног циклуса *PVC* прозора у коме су груписане информације приказан је на слици 24 [20].



Слика 24. Шематски приказ стабла анализе животног циклуса *PVC* прозора [20].

На шематском приказу се на основу дебљина линија може закључити утицај на животни циклус производа. Дебљина линије је пропорционална утицају на животну средину.

Приказано процесно стабло се може приказати у нешто једноставнијем облику, узимајући у обзир утицаје који у мањем обиму утичу на животну средину.

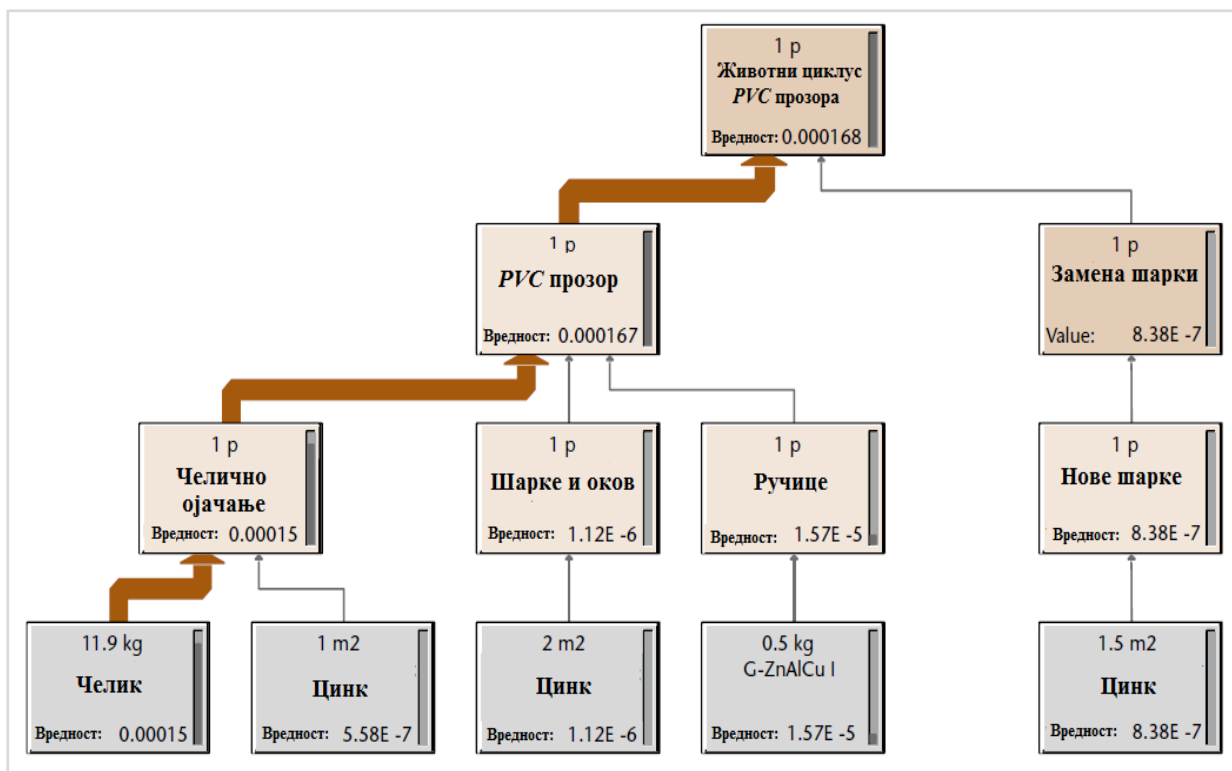
Поједностављено процесно стабло узима у обзир слабије утицаје на животну средину приказано је на слици 25.

Слабији утицаји на животну средину су последица емисије штетних органских једињења које након производње компоненти доприносе мање од 0,1% свих штетних органских једињења.

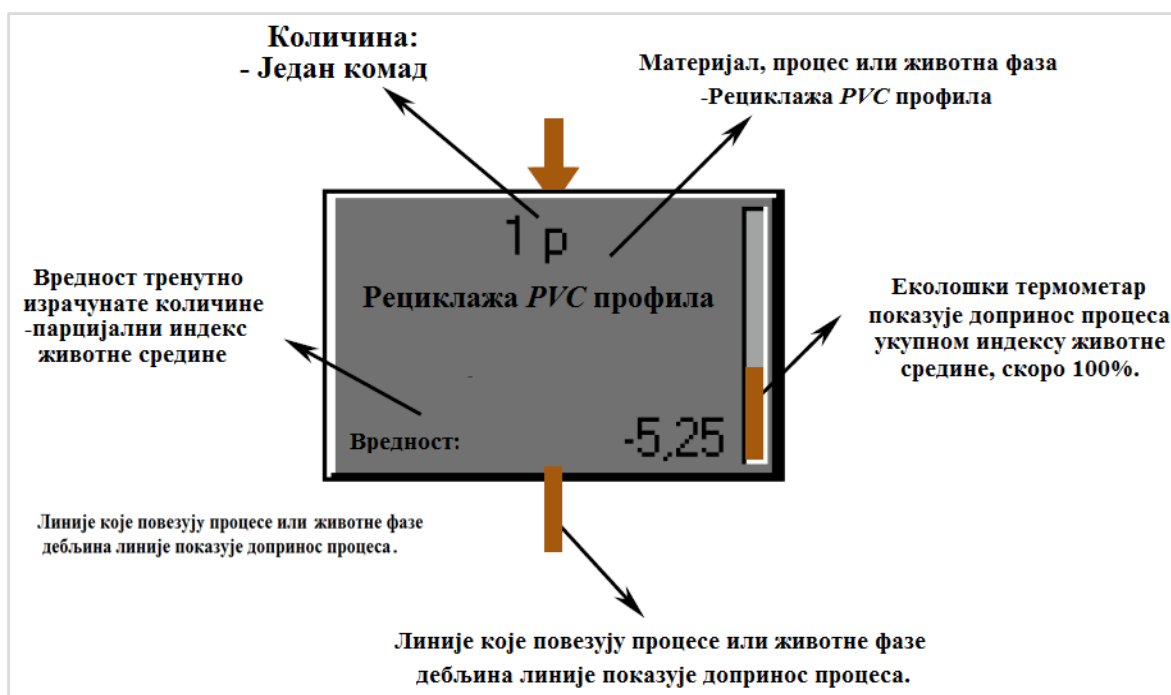
Вредности у кутијама процесног стабла представљају масу која се емитује у технолошким процесима. Скоро 90% емисија штетних органских једињења у *LCA* прозора од *PVC* профила настаје услед производње челика који се користи за ојачање прозора [20].

Процесна кутија (слика 26) приказује начин на који се може израчунати вредност два важна параметра: утицаја на животну средину и еколошког “термометра”.

Утицај на животну средину приказује удео (утицај) елемента у стаблу, док еколошки “термометар” означава релативни допринос процеса укупном утицају на животну средину.



Слика 25. Поједностављено процесно стабло *PVC* прозора [20].



Слика 26. Процесна кутија на примеру рециклаже *PVC* профила [20].

На примеру рециклаже *PVC* профила приказана је негативна вредност у процесној кутији, што је последица уштеде енергије која се употребљава за производњу нових профила. Применом рециклаже, долази до промене процеса производње нових профила, јер се не користи сировина која би се претходно експлоатисала. Тиме се остварује уштеда енергетских ресурса и количина отпада се смањује.

4.2.2.3. Карактеризација – утицаји и категорије оштећења

Фаза карактеризације за *PVC* прозор је дефинисана на исти начин као и у делу *LCA* за алуминијумски прозор, укључујући све улазе и излазе који утичу на животну средину.

Рачунарске процедуре које се користе за прикупљање података који утичу на животну средину, примењују еколошке моделе за упоређивање различитих доприноса истом еколошком проблему.

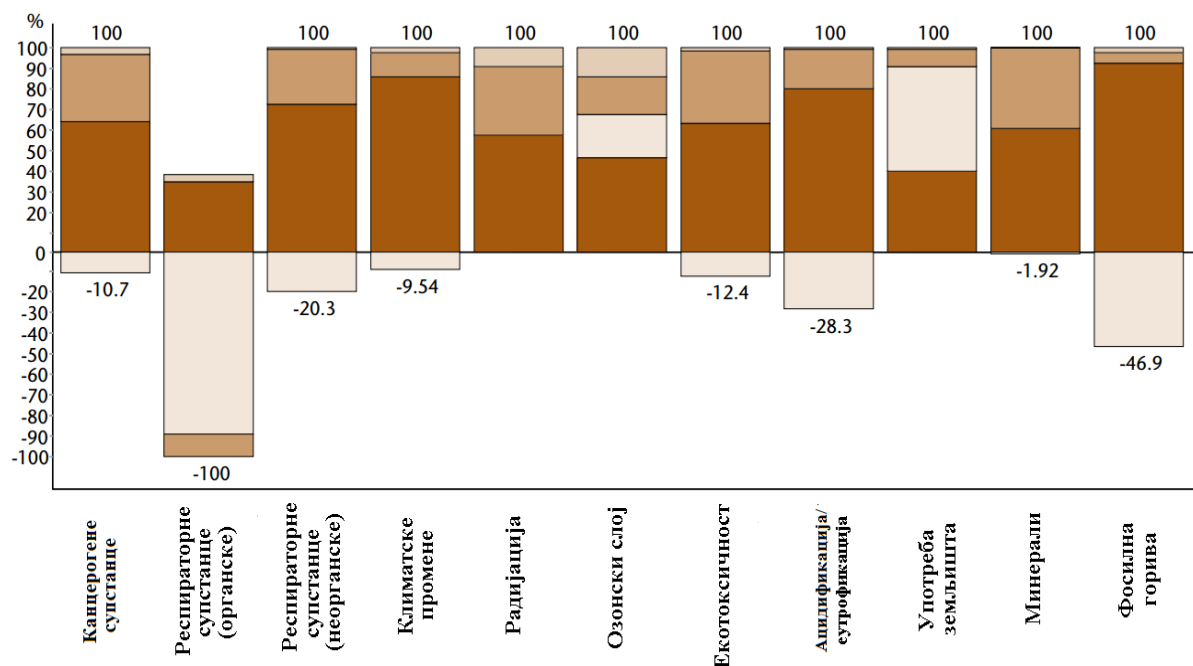
Производња *PVC* прозора формира 11 утицајних категорија.

Категорије утицаја настале производњом *PVC* прозора су следеће:

- 1) Канцерогене супстанце: углавном су никл, арсен и кадмијум који се испуштају у воду и ваздух. Они су повезани са употребом електричне енергије која се користи за производњу челичног ојачања и осталих челичних елемената.
- 2) Респираторне супстанце (VOC): имисија испарљивих органских једињења (искључујући метан) и етилен углавном прате производњу и екструзију *PVC* профила. Међутим, негативне вредности емисије угљоводоника преовлађују, као последица рециклирања челика и *PVC* материјала.
- 3) Респираторне супстанце: испарљива неорганска једињења. Настају приликом производње челика и *PVC* профила, али се јављају и у виду прашине приликом просеца рециклаже *PVC* профила.
- 4) Климатске промене: преко 90% резултата у овој категорији укључује емисија CO_2 која настаје током производње електричне енергије неопходне за рециклажу и производњу *PVC* профила. Негативне вредности емисије у фази животног циклуса су резултат профила који се могу рециклирати.
- 5) Радијација (зрачење): највећи узрок радијације је процес производње челичних елемената (шарки, ојачања), стакла и гуме за дихтовање. Допринос се огледа кроз емисију изотопа и то углавном ^{14}C у ваздух и ^{137}Cs у воду.
- 6) Озонски слој: овај утицај је директно везан за емисију супстанце HALON-1301 (CF_3BR), која се емитује кроз процес производње електричне енергије.
- 7) Екотоксичност: утицај на животну средину услед животног циклуса *PVC* прозора јавља се кроз емисије никла, цинка и бакра. Негативна емисија се јавља као последица рециклаже ручица и челичних делова.
- 8) Ацидификација / еутрофикација: емисије азотних оксида и сумпор-диоксида се јавља при процесу производње челика и *PVC* профила. Негативна вредност емисије постиже се рециклирањем *PVC* профила и челика. Рециклирање металних делова омогућава избегаваље ископа руде гвожђа и цинка.
- 9) Употреба земљишта: ова категорија утицаја се односи на производњу електричне енергије која се користи за рециклажу и производњу *PVC* профила и челика.
- 10) Минерали: потрошња минералних сировина у великој мери зависи од производње челика за шарке и окове (углавном се користи никл и цинк). Рециклажа металних делова омогућава да се избегне ископ руда гвожђа и цинка.

11) Фосилна горива: у фази производње се највише користе нафта и природни гас. Процеси који су најважнији у производњи *PVC* профила захтевају и употребу електричне енергије. Негативна потрошња горива је последица рециклаже *PVC* профила [20].

Резултати карактеризације су апсолутне вредности утицаја изражених такозваним ефектним резултатима или утицајима који су приказани у на слици 27.



Слика 27. Резултати фазе карактеризације [20].

На слици 27. су приказани резултати фазе карактеризације као релативни утицај фаза животног циклуса изражених у процентима.

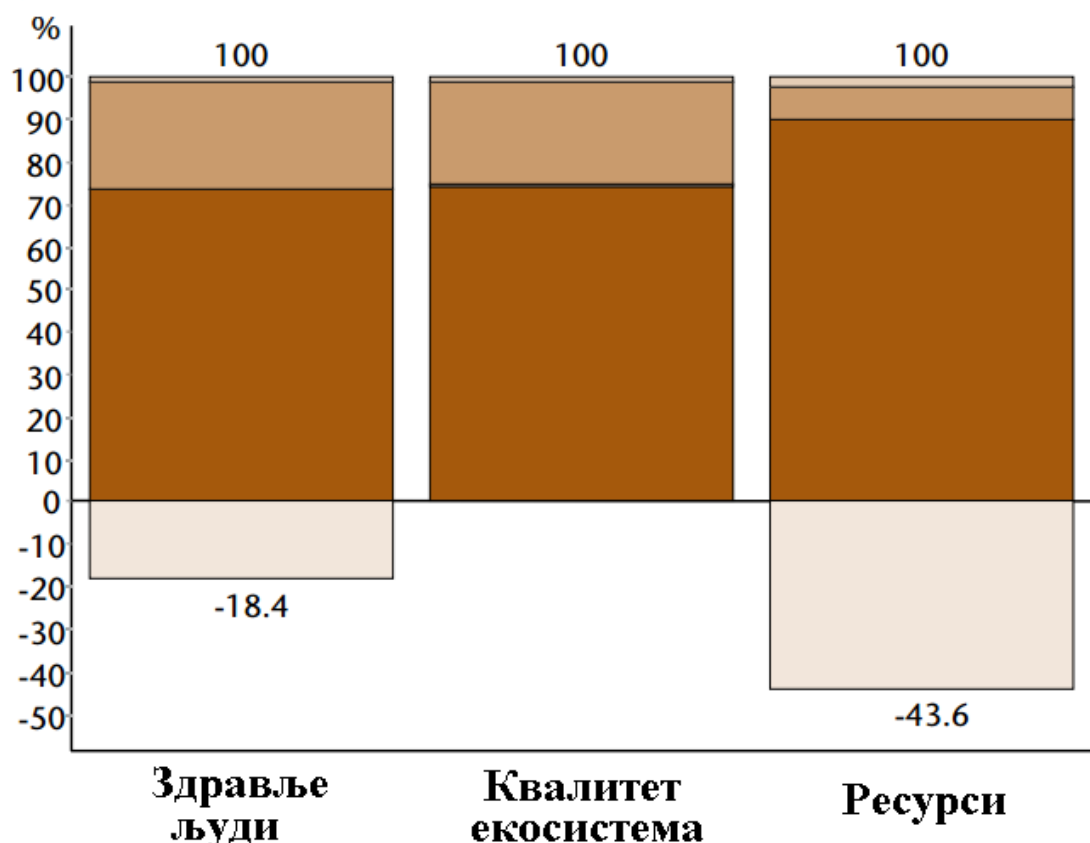
Референтна тачка (100%) је изједначена са износом целог животног циклуса. Фаза карактеризације дефинише процес производње профила као најважнију фазу у анализи животног циклуса. Утицај производње алуминијумских профила на животну средину представљен је тамно браон бојом. Утицај фазе производње покрива готово више од 50% оптерећења животне средине у 8 од 11 категорија.

Као и у процесу *LCA* алуминијумског прозора, резултати се могу груписати у три категорије штетности, које се разматрају у оквиру *Eco Indicator 99*:

- здравље људи,
- квалитет екосистема,
- ресурси [20].

Канцерогене супстанце су једињења која су последица респираторних болести, емисије штетних гасова стаклене баште, зрачења и других последица које утичу на здравље људи. Токсична једињења по животну средину су еутрофикација/ ацидификација, екотоксичности и употреба земљишта. У категорију ресурса спадају минерали и фосилна горива.

На слици 28. приказан је утицај *PVC* прозора кроз три категорије штетности [20].



Слика 28. Три категорије штетности [20].

Нумеричке вредности представљају проценат укупног ефекта у три категорије штетности. Очигледно је да фаза производње (тамно браон) утиче у највећој мери на квалитет екосистема.

4.2.2.4. Нормализација

У фази нормализације тежи се поређењу резултата који су постигнути у фази карактеризације [20].

Eco Indicator 99 се бави нормализацијом еколошког профила према вредностима које представљају штетност за животну средину (по становнику у датој области годишње). Како би резултат нормализације за све категорије био валидан, сви утицаји на животну средину се множе коефицијентима који се добијају из статистичке анализе глобалних емисија (у датој области годишње).

Прорачун параметра нормализације на основу резултата карактеризације приказан је у табели 12. У обзир су узети индикатори – категорије утицаја према методи *Eco Indicator 99*.

Табела 12. Поступак нормализације – индикатори

Категорија утицаја	Јединица	Карактеризација			Нормализација
Канцерогене супстанце	DALY	1,78E-5	*65,1		0,00116
Респираторне супстанце: (VOC)		-4,68E-7			-3,04 E-5
Респираторне супстанце: испарљива неорганска једињења.		0,000157			0,0102
Климатске промене		2,98E-5			0,00194
Радијација (зрачење):		6,45E-8			4,2E-6
Озонски слој		4,34E-8			2,8E-6
Екотоксичност	PAF*m ² годишње	36,9	*0,1	*1,95*10 ⁻⁴	0,00072
Ацидификација / еутрофикација	PDF*m ² годишње	4,13	*1,95*10 ⁻⁴		0,000805
Употреба земљишта		4,29			0,000836
Минерали	MJ вишак	22,3	*1,19*10 ⁻⁴		0,00265
Фосилна горива		150			0,0178

* DALY (Disability Adjusted Life Years) - Године прилагођавања инвалидности.

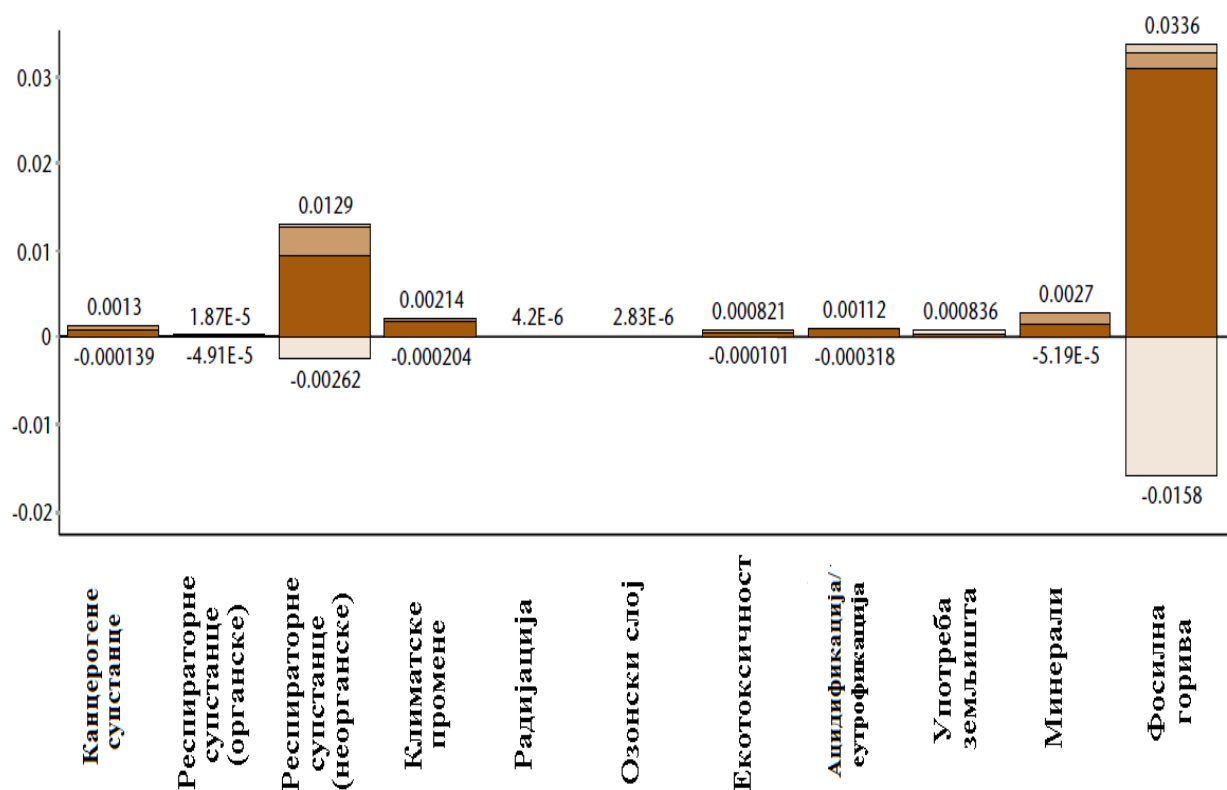
* PAF*m² (Potentially Affected Fraction) - Потенцијално погођена фракција врсте.

* PDF*m² (Potentially Disappeared Fraction) – Потенцијално нестала фракција врсте.

* MJ (вишак) – (Изражава се као вишак енергије потребне за будуће активности [MJ]).

На основу табеле 12. може се закључити да животни циклус PVC прозора доприноси углавном смањењу фосилних горива (за производњу PVC профила) и емисије респираторних (органичних и неорганичних) једињења као што су SO_x или NO_x (настају при производњи легура).

На слици 29 илустративно су приказани резултати добијени у табели 12, како би поређење добијених резултата било једноставније.



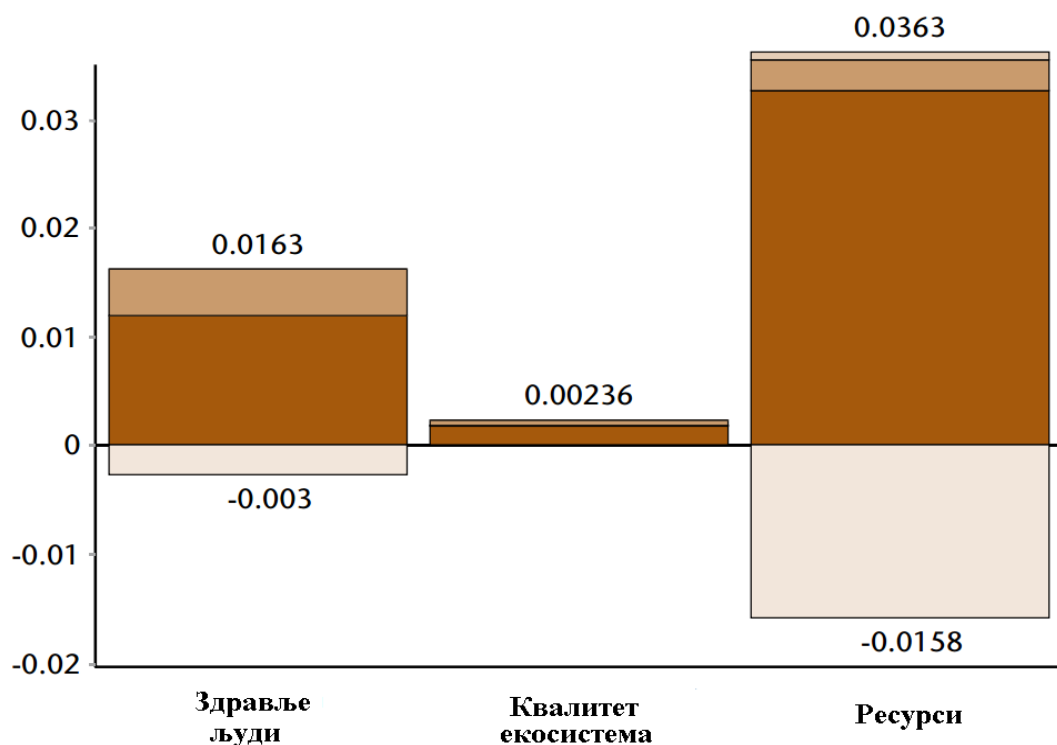
Слика 29. Нормализација – утицај индикатора

Eco Indicator 99 на основу резултата карактеризације и коефицијената формира резултат нормализације за све три категорије оптерећења животне средине [22]. У табели 13. приказан је поступак, на основу кога се формира резултат нормализације.

Табела 13. Формирање резултата нормализације – три категорије штетности

Категорија штетности	Карактеризација		Нормализација
Здравље људи	0,000205	*65,1	0,0133
Квалитет екосистема	12,1	* $1,95 \cdot 10^{-4}$	0,00236
Ресурси	172	* $1,19 \cdot 10^{-4}$	0,0205

На слици 30. приказани су резултати нормализације за три категорије штетности које су дефинисане методом *Eco Indicator 99*. Као и у *LCA* алуминијумског прозора, коначни резултати нормализације се могу изразити кроз три категорије штетности: здравље људи, квалитет екосистема и ресурса.



Слика 30. Оптерећење животне средине – PVC прозор [20].

Нормализација у случају три основне категорије штетности (здравље људи, квалитет екосистема, ресурси) указује на неопходно смањење потрошње ресурса (фосилних горива) чија је примена заступљена у процесу производње *PVC* профила, челика и легура које се користе за производњу шарки, окова и ојачања.

Следећи најважнији еколошки утицаји на животну средину су ефекат стаклене баште, емисија респираторних супстанци која утиче на здравље људи.

Највеће оптерећење за животну средину евидентно је на пољу ресурса (употребе фосилних горива) и здравља људи (емисија честица).

4.2.2.5. Агрегација – тежинско одмеравање

Агрегација (тежинско одмеравање) представља корак у коме се различите категорије утицаја тежински одмеравају да би се поредили између себе, тј да би се поредили њихови релативни утицаји. Као и нормализација, процес агрегације се врши на нивоу процене нивоа оштећења, тако што се множе нормализовани еколошки профили са низом агрегационих фактора који карактеришу посматрани ефекат [20].

Eco Indicator 99 подразумева следеће агрегационе (тежинске) факторе који се односе на категорије штетности животне средине:

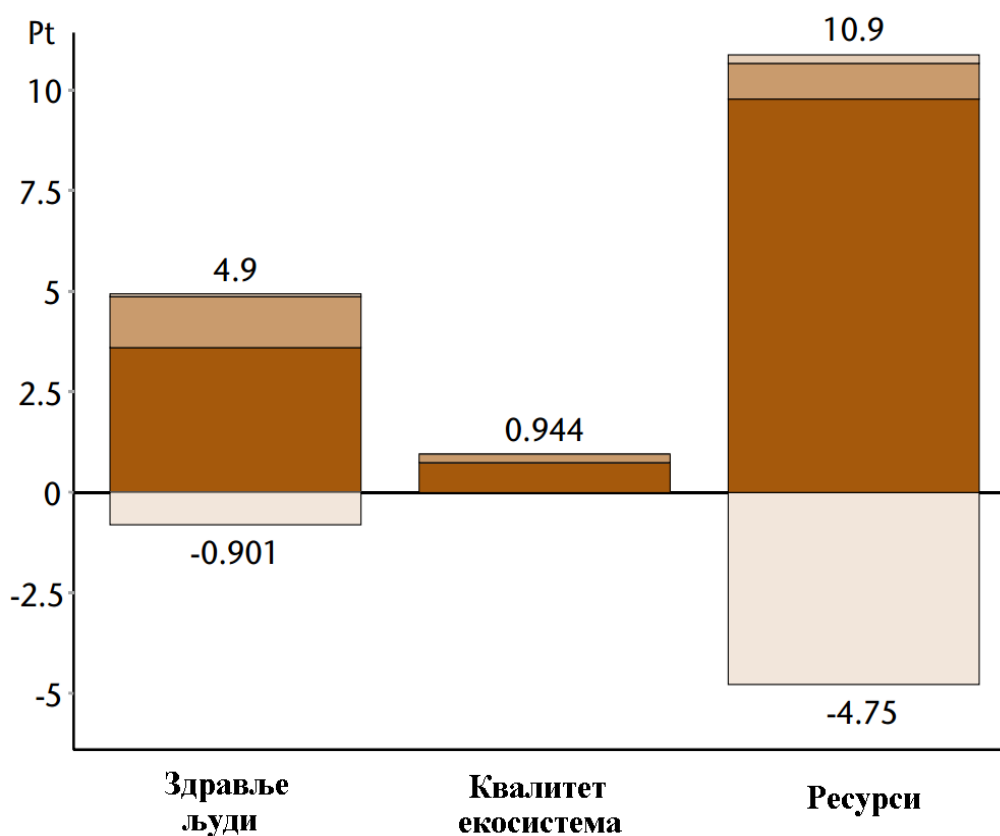
- здравље људи – 300,
- квалитет екосистема – 400,
- ресурси – 300 [10, 20].

Eco Indicator 99 на основу тежинских фактора и коефицијената нормализације формира базу података за све три категорије оптерећења животне средине. У табели 14. приказан је поступак, на основу кога се формирају тежински коефицијенти.

Табела 14. Формирање тежинских коефицијената

Категорија штетности	Нормализација	Тежински фактор	Тежински коефицијент
Здравље људи	0,0133	*300	4
Квалитет екосистема	0,00236	*400	0,944
Ресурси	0,0205	*300	6,15

Графичко поређење тежинских коефицијената приказано је на слици 31.



Слика 31. Тежински коефицијенти - PVC прозор [20].

Упоређивањем резултата нормализације и тежинских коефицијената, долази се до закључка да је општи резултат сличан.

Највеће оптерећење за животну средину евидентно је на пољу ресурса (употребе фосилних горива) и здравља људи (емисија честица).

Разлика између нормализације и фазе тежинских коефицијената је у евидентној размери утицаја. Разлика се јавља услед претпостављене доделе тежинских фактора, који приоритет дају квалитету екосистема у односу на здравље људи и употребу ресурса.

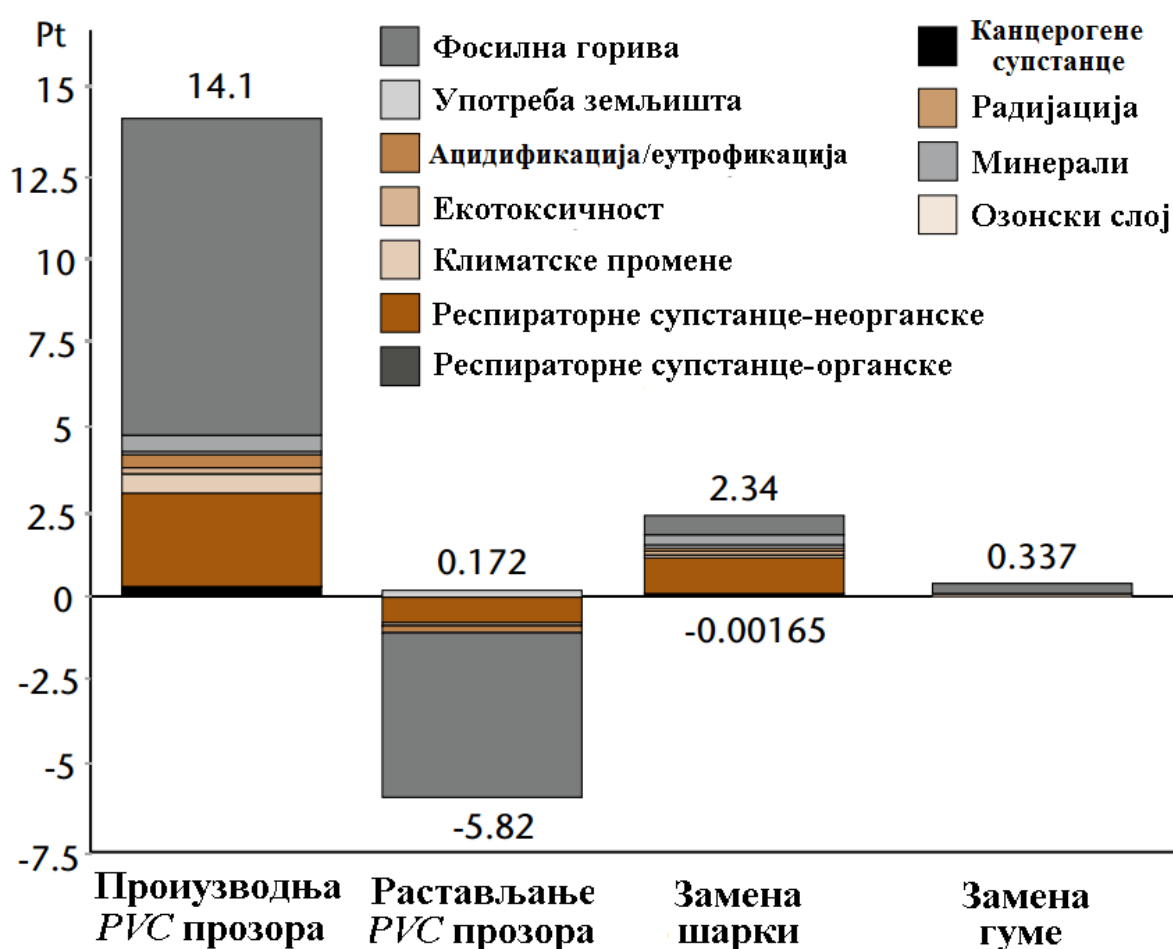
Негативне вредности представљају улазне и излазне параметре, који се током производног процеса не испуштају у атмосферу, односно количина емисија се спречава процесом рециклаже и рекулперације енергије [20].

4.2.2.6. Формирање јединственог резултата

Eco Indicator 99 као метода омогућава формирање јединственог резултата – утицаја на животну средину у процесу *LCA PVC* прозора [22]. Јединствени резултат постиже се сабирањем свих појединачних еколошких оптерећења или парцијалних утицаја за све процесе животног циклуса *PVC* прозора.

Рачунарски поступак се обавља тако што се врши сабирање тежинских коефицијената у свим фазама животног циклуса, почевши од фазе производње *PVC* прозора, преко фазе монтаже, употребе, сервисирања и крајњег процеса рециклаже или одлагања производа.

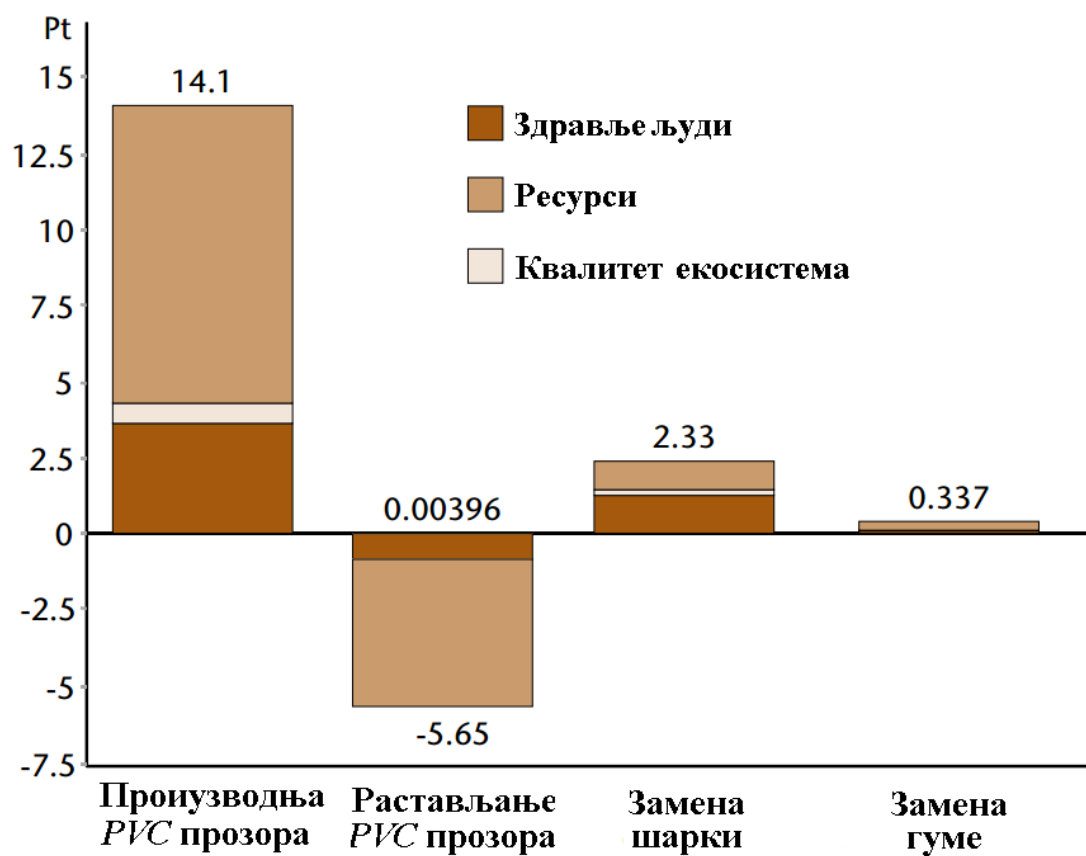
Резултат може бити приказан парцијално, тако што обухвата све категорије оптерећења животне средине појединачно, као што је учињено на слици 32.



Слика 32. Јединствен резултат *LCA PVC* прозора [20].

Утицај на животну средину је 11,1 еко тачака, од чега је готово највише додељено фази производње [20].

Производња *PVC* прозора погађа углавном капацитете ресурса и здравље људи (слика 33). Негативна вредност код процеса растављања прозора произилази из процеса рециклаже *PVC* профила, челика и стакла.



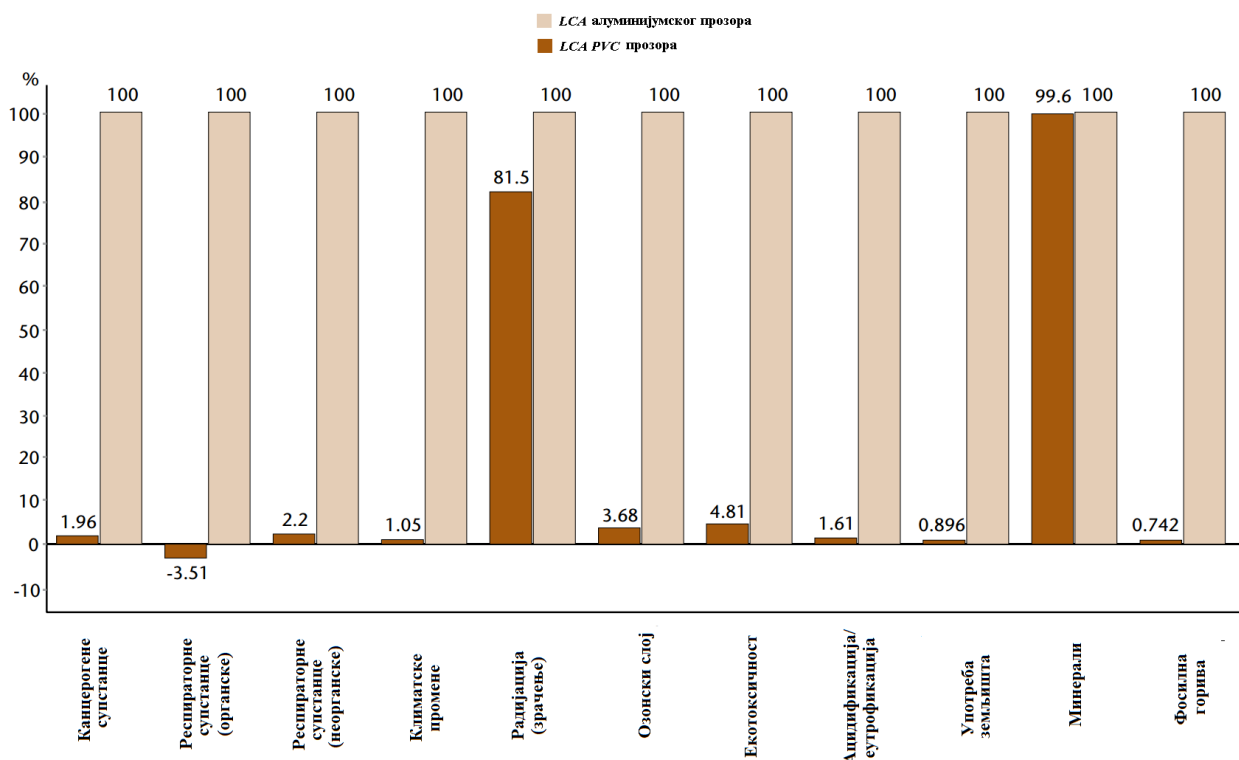
Слика 33. Јединствен резултат *LCA* PVC прозора [20].

4.2.3. Поређење резулата *LCA* алуминијумског и *PVC* прозора

Анализа животног циклуса (*LCA*) алуминијумског и *PVC* прозора извршена је коришћењем потпуно истих метода. Иако су методе за *LCA* исте, процењени животни век је другачији. Као улазни параметар у обзир је узет животни век *PVC* прозора од 40 година, док је за алуминијумски прозор животни век процењен на 50 година. Другим речима, поређење резулата је дефинисано тако да један алуминијумски прозор треба поредити са 1,25 *PVC* прозора. Поређење резулата је представљено компаративно [20].

4.2.3.1. Поређење карактеризације

Компаративни приказ фазе карактеризације алуминијумског и *PVC* прозора приказан је на слици 34.



Слика 34. Карактеризација алуминијумског и *PVC* прозора [20].

На слици 34. је коефицијент за сваку од 11 категорија утицаја постављен као референтна тачка и претпоставља се да је једнака 100%.

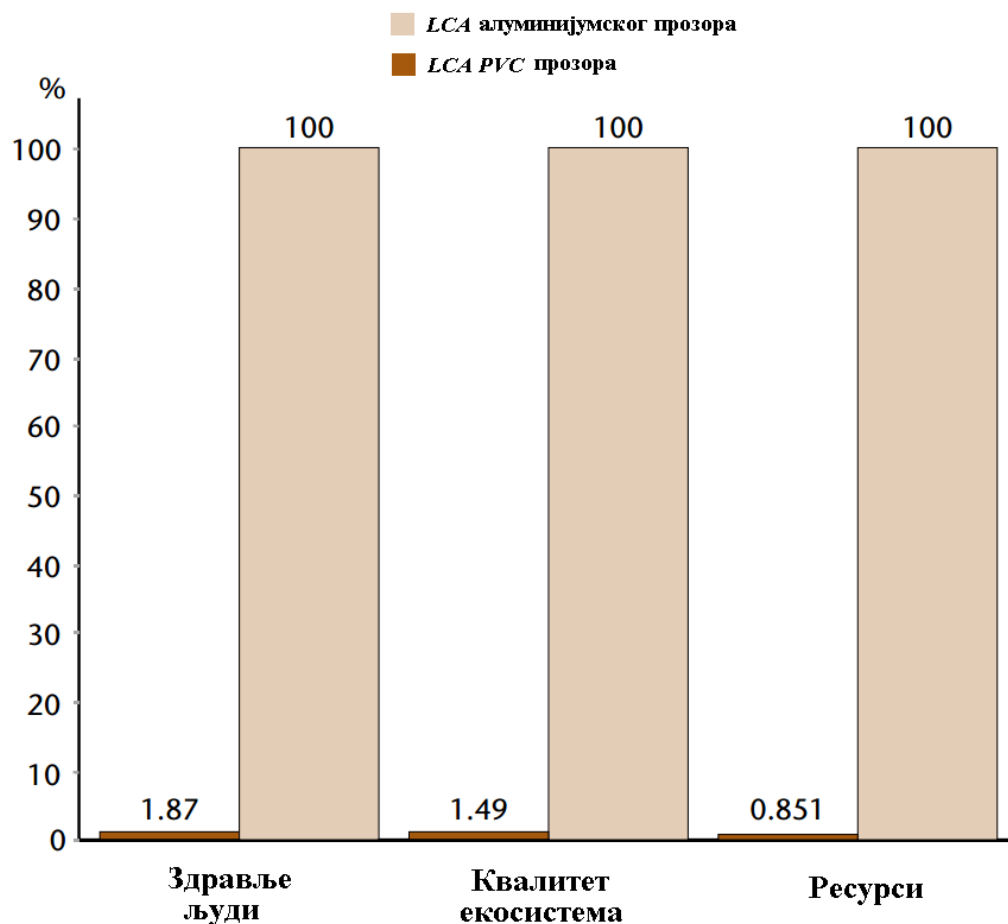
Јасно је да алуминијумски прозор има већи утицај на животну средину у свакој од 11 категорија, што је узроковано углавном због енергетски интензивног процеса од екструзије алуминијумских профила.

У случају категорија које се односе на минералне ресурсе и утицај радијације (зрачења), резултати анализе су упоредиви. Утицај радијације је приближан у оба случаја, јер се радијација јавља при приоизводњи стакла, шарки, челичних делова и гуме. Мала разлика између утицаја на животну средину у категорији радијације је последица дужег животног циклуса алуминијумског прозора.

У категорији минерала, утицај на животну средину је готово идентичан за оба прозора. У овој категорији је занемарена производња алуминијума, јер се алуминијум готово

100% рециклира и може се користити у другом производном процесу. Главни допринос овој категорији је иста количина експлоатисаног или рециклираног челика за производњу шарки и окова.

На слици 35. приказани су резултати карактеризације животног циклуса алуминијумског и *PVC* прозора, који се односе на три категорије штетности [20].



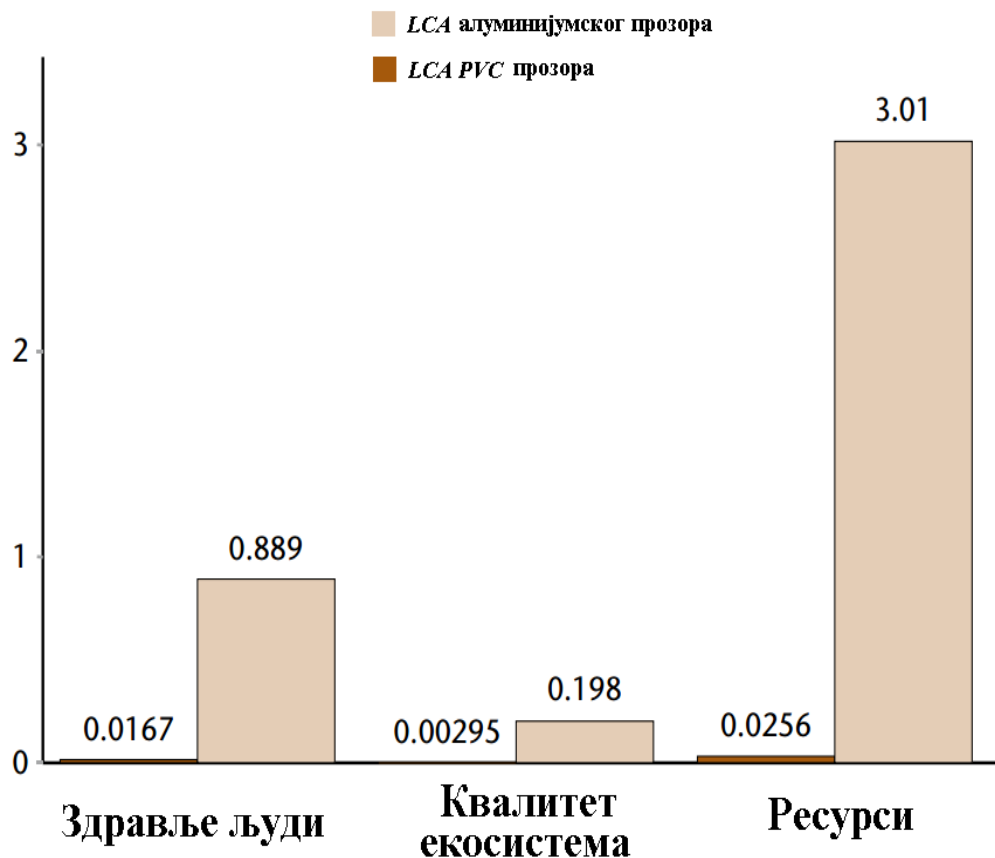
Слика 35. Категорије штетности – карактеризација [20].

Након поређења резултата који утичу на здравље људи, квалитет екосистема и потрошњу ресурса може се закључити да *PVC* прозор има бољи еколошки профил. Другим речима, *PVC* прозор је еколошки посматрано бољи производ у односу на алуминијумски прозор [20].

4.2.3.2. Поређење нормализације

Резултати нормализације који су изведени коришћењем методе *Eco Indicator 99* приказани су на слици 36.

На слици су јасне пропорције утицаја на животну средину при процесу производње и процењеног животног века алуминијумског и *PVC* прозора [20].



Слика 36. Резултат нормализације алуминијумског и PVC прозора [20].

Корак нормализације није променио никакве закључке о супериорности PVC прозора у односу на прозор који је направљен од алуминијумских профила. У фази нормализације, утицај PVC прозора је далеко повољнији када је реч о здрављу људи, квалитету екосистема и количини потребних ресурса [20].

4.2.3.3.Поређење агрегације – тежинског осредњавања

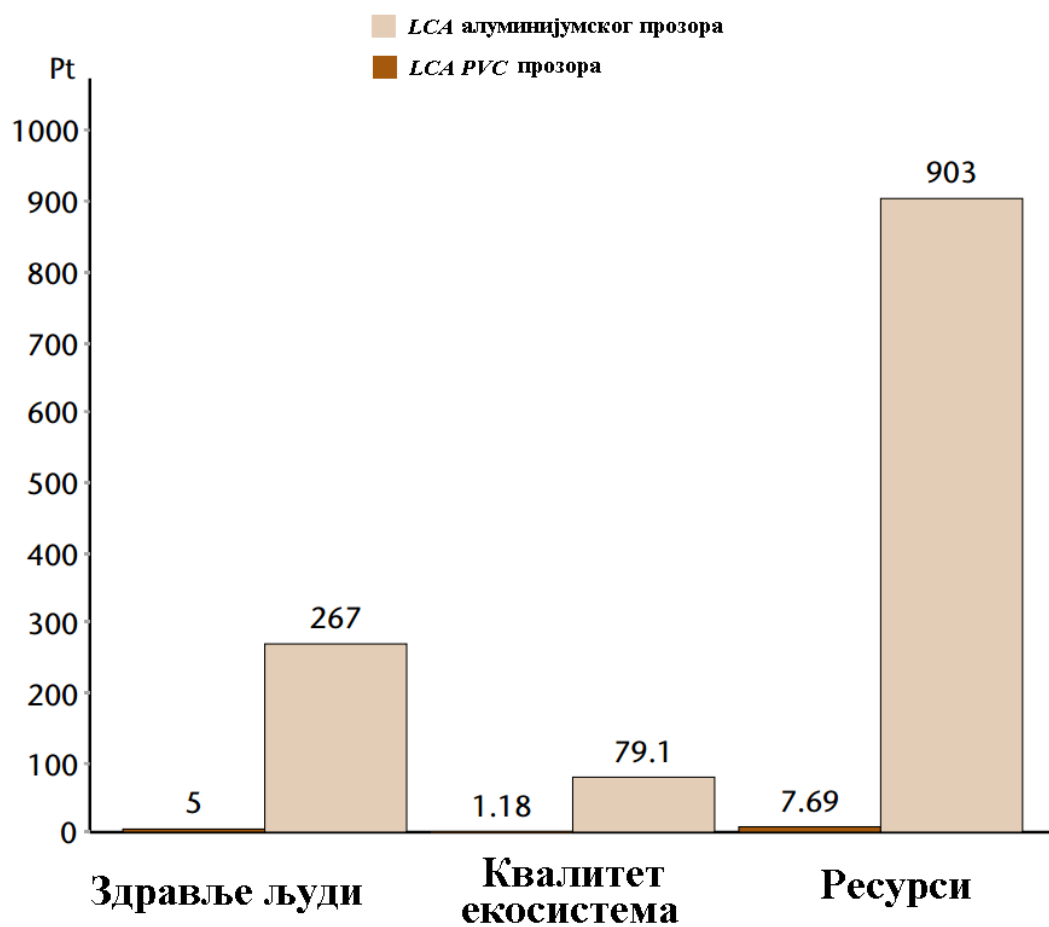
Eco Indicator 99 на основу тежинских фактора и коефицијената нормализације формира базу података за све три категорије оптерећења животне средине. У табели 15. приказан је поступак, на основу кога се формирају тежински коефицијенти.

Табела 15. Формирање тежинских коефицијената

Категорија штетности	Нормализација	Тежински фактор	Тежински корфицијент
Алуминијумски прозор			
Здравље људи	0,889	*300	267
Квалитет екосистема	0,198	*400	79,1
Ресурси	3,01	*300	903
PVC прозор			
Здравље људи	0,0167*	*300	5
Квалитет екосистема	0,00295*	400	1,18
Ресурси	0,0256*	300	7,69

*Нормализација је помножена са 1,25 (однос животног века алуминијумског и PVC прозора).

Графичко поређење тежинских коефицијната приказано је на слици 37.



Слика 37. Агрегација (тежинско одмеравање) алуминијумског и *PVC* прозора [20].

У фази агрегације утицај *PVC* прозора је повољнији када је реч о здрављу људи, квалитету екосистема и количини потребних ресурса.

4.2.3.4.Анализа доприноса процеса

Анализа доприноса процеса се примењује како би се утврдило који су процеси у животном циклусу производа најважнији. Анализа утицаја се односи на прорачун доприноса утицају на животну средину.

Анализа доприноса процеса на животну средину значајно утиче на поједностављивање процесног стабла, фокусирајући пажњу на најважније процесе у животном циклусу. У табели 16. приказани су доприноси утицају на животну средину за сваки процес појединачно.

Табела 16. Доприноси утицају на животну средину [20].

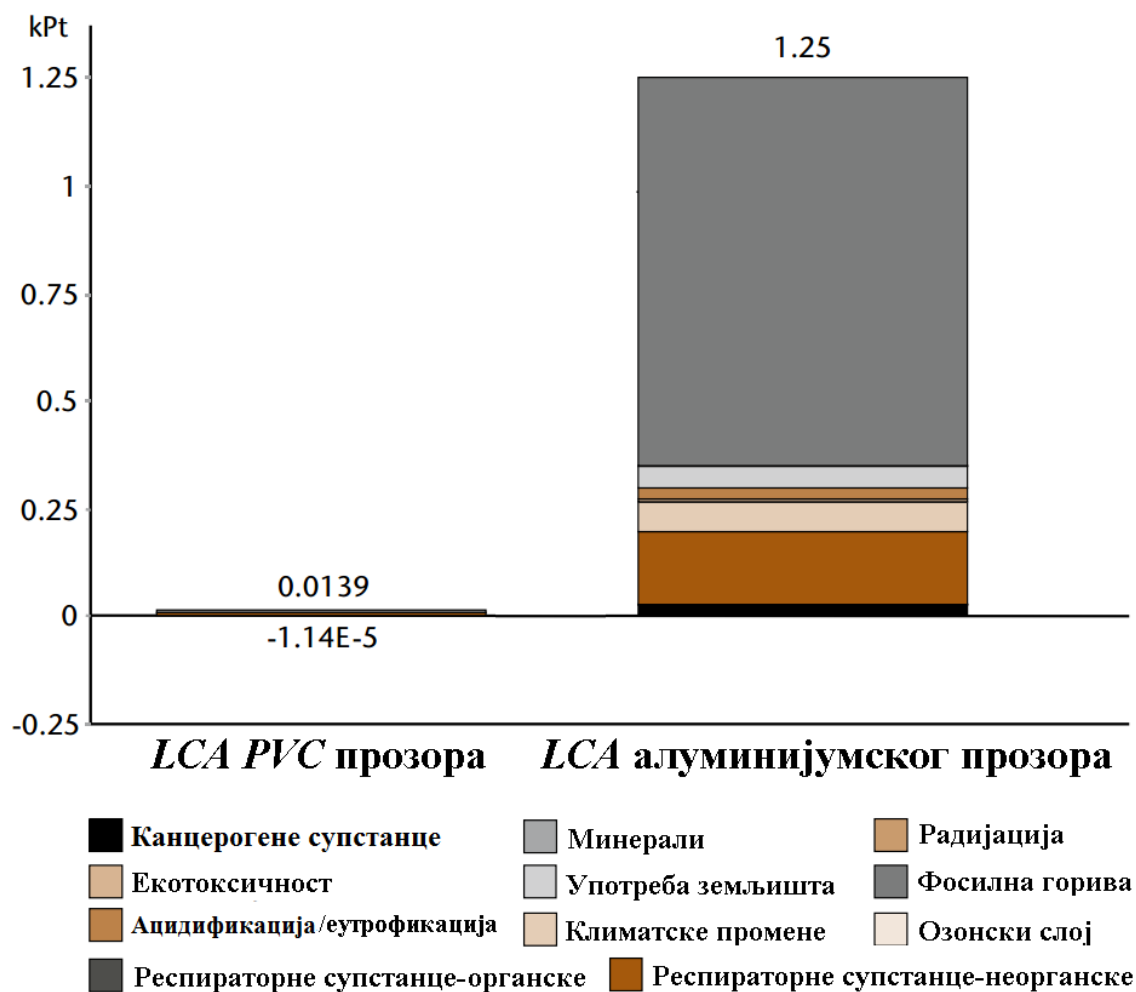
	Алуминијумски проор		PVC прозор
Сви процеси - укупно	100%	Сви процеси - укупно	100%
Преостали процеси	0,9532	Преостали процеси	4,409
Сирова нафта	50,29	PVC суспензија	62,03
Екстудирани алуминијум	13,28	Челичне легуре	41,64
Природни гас	11,63	Електрична енергија (средњи напон)	24,89
Електрична енергија (нафта)	11,07	Сировина за стакло	15,88
Електрична енергија (угаљ)	6,519	Екструзија PVC-а	6,885
Електрична енергија (нуклеарна горива)	3,475	Рециклажа челика	5,677
Природни гас (метан)	1,458	Топлотна моћ горива	5,285
Алуминијумски инготи	0,857	Гума	4,153
Електрана (лигнит)	0,684	Електрична енергија (гас)	4,136
Челичне легуре	0,5459	Челик	2,105
Електрана (гас)	0,2599	Теретни носач	2,048
Боксит	-0,0314	Стакло (100% рециклирано)	-3,012
Сирови алуминијум	-0,3546	Челично ојачање	-9,875
Стакло	-0,3628	Рециклажа PVC-а	-66,25

Код алуминијумског прозора, сирова нафта има доминантан утицај на животну средину (удео 50%). Екструзија алуминијума утиче са нешто више од 13%.

Код PVC прозора, доминантан процес је производња челичних легура са уделом од 41,64%. На први поглед производња PVC материјала утиче са 62,03%, али се она анулира рецикажним процесом који смањује утицај на животну средину за 66,25% [20].

4.2.3.5.Поређење утицаја животне средине

Последњи корак упоредне LCA је одређивање и упоређивање појединачних резултата за оба прозора. На слици 38. упоредно је приказан утицај на животну средину за PVC и алуминијумски прозор.



Слика 38. Упоредни приказ утицаја на животну средину [20].

Утицај на животну средину *PVC* прозора је 13,9 еко тачака, док је за алуминијумски прозор 1250 еко тачака. Однос индикатора животне средине је 1:90.

Поређење утицаја на животну средину за животни циклус алуминијумског и *PVC* прозора показује да фазе производње, употребе и одлагања алуминијумског прозора узрокују око 90 пута већи утицај на животну средину него исте фазе *PVC* прозора [20].

4.2.4. Анализа утицаја *PVC* и алуминијумског прозора на животну средину

Са аспекта заштите животне средине *PVC* прозор далеко повољније утиче на животну средину у односу на алуминијумски прозор.

Међутим, неизвесности које се односе на доступност података, поузданост и релевантност, али пре свега на недостатак прихваћене методологије за анализу животног циклуса прозора чини крајњи исход само квалитативним.

У циљу испитивања резултата који се односе на квалитет података и претпоставки у *LCA* анализи, додатно се анализирају промене коначног резултата под утицајем технолошких поступака у фази производње, различитог животног века и различитих сценарија одлагања [20].

4.2.4.1. Утицај технолошких поступака

У животном циклусу алуминијумског прозора мора се претпоставити који се технолошки поступци користе за производњу алуминијумских профила.

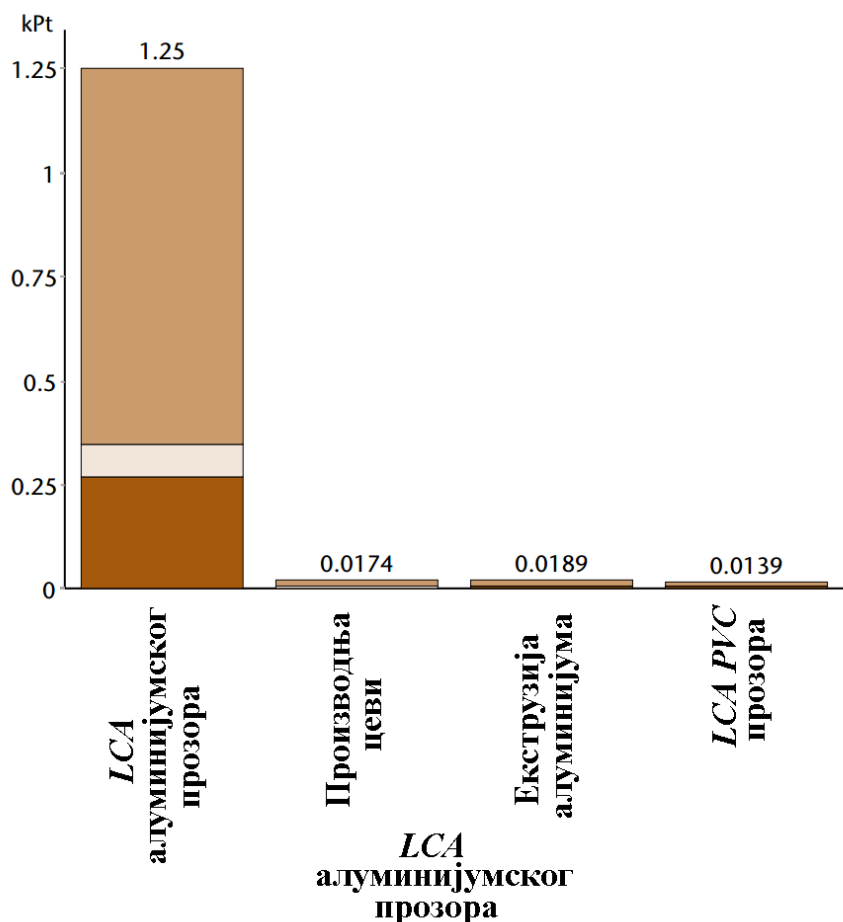
Технологија одабрана из базе података *SimaPro 5.0* софтвера која коришћена у моделирању животног циклуса односи се на производњу алуминијумских делова прозора и аутомобила. У бази података назива се екструдирани алуминијум. Међутим, није познато која је технологија примењена за процес екструзије профила за анализирани прозор (ова информација није била доступна током анализе инвентара) [20].

У бази података *SimaPro 5.0* постоје две технологије за екструдирање алуминијума:

- 1) екструзија алуминијума - ова технологија не обухвата производњу алуминијума,
- 2) производња алуминијумских цеви - технологија екструзије алуминијумских цеви које се обрађују на температури од 450 °C (премаз зида унутра и споља).

У циљу анализе технолошких утицаја алуминијумског прозора, процес екструзије алуминијума замењен је процесом алуминијумске екструзије и процесом производње алуминијумских цеви у фази производње.

Однос утицаја на животну средину када је у обзир узет утицај технолошких поступака производње алуминијумских профила приказан је на слици 39.



Слика 39. Утицај на животну средину – технолошки поступак [20].

Резултат анализе показује драматично смањење односа индикатора са првобитних 1:90 на 1:1,36 за технологију екструзије алуминијума и до 1:1,25 за производњу алуминијумских цеви (табела 17.). Анализа показује да без обзира који се улазни подаци користе, нижи утицај на животну средину се приписује *PVC* прозору [20].

Табела 17. Однос утицаја на животну средину алуминијумског и *PVC* прозора

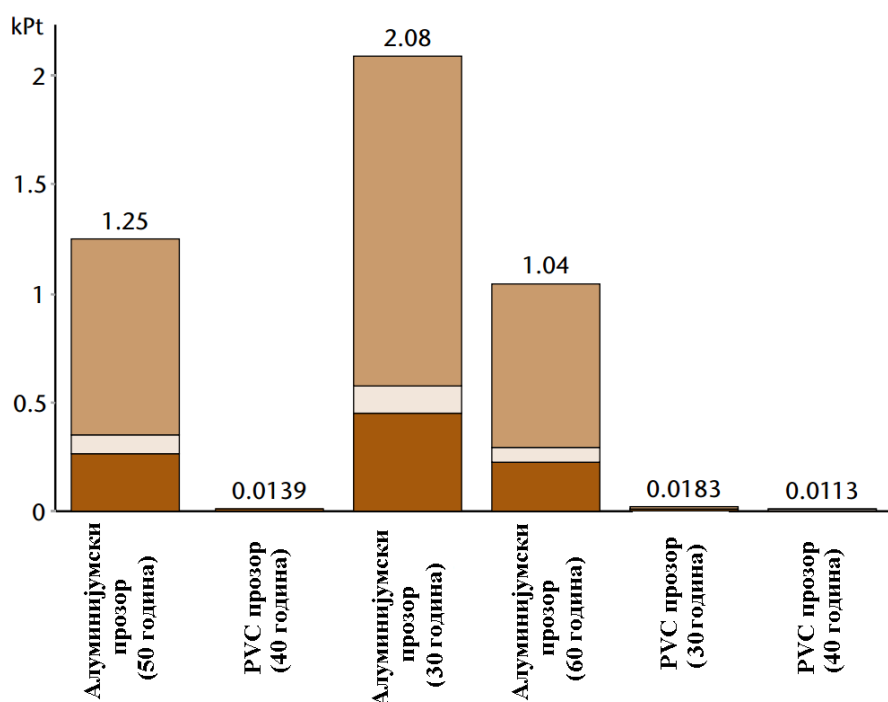
	Утицај на животну средину (алуминијумски прозор)	Утицај на животну средину (<i>PVC</i> прозор)	Однос утицаја на животну средину алуминијумског и <i>PVC</i> прозора
Улазни подаци	1,25	0,0139	90
Производња алуминијумских цеви	0,0174		1,25
Екструзија алуминијума	0,0189		1,36

Анализа показује да избор технолошких поступака за производњу алуминијумских профила значајно утиче на однос утицаја на животну средину алуминијумског и *PVC* прозора.

4.2.4.2. Утицај животног века

PVC и алуминијумски прозори су дизајнирани тако да функционишу и буду употребљиви у дужем временском периоду. Не постоји могућност да се прецизно одредити дужина животног века производа нити његов сценарио за одлагање. За улазне податке *LCA* процењени животни век износи 50 година за алуминијумски прозор и 40 година за *PVC* прозор [20].

Како би се проверио утицај животног века прозора на животну средину, спроведена је упоредна анализа за краћи и дужи животни век (30 и 60 година). Резултати анализе су приказани на слици 40.



Слика 40. Утицај на животну средину– животни век [20].

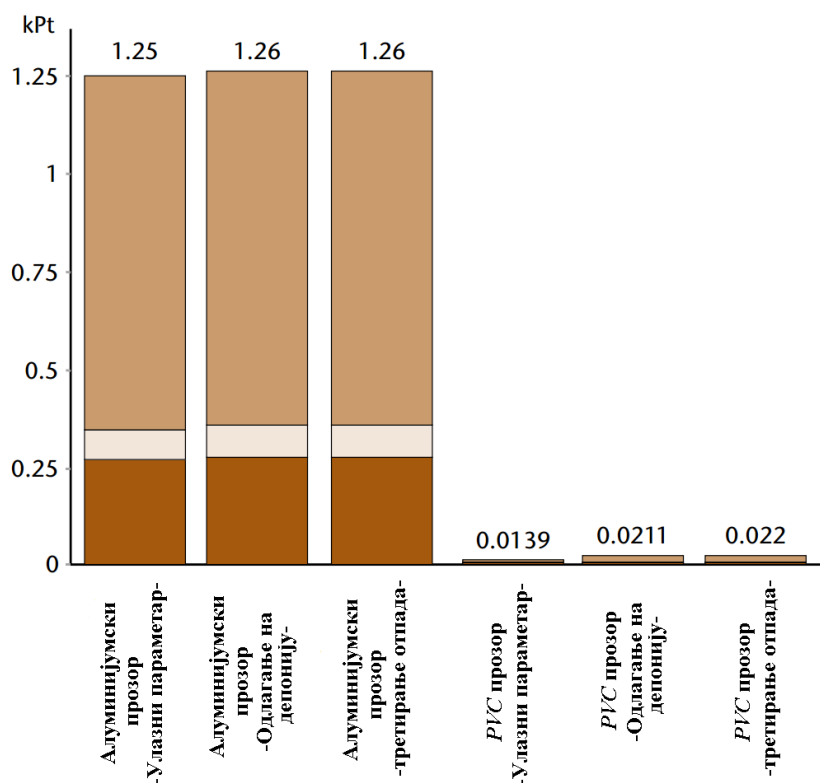
Резултати утицаја животног века указују на чињеницу да што је дужи животног век прозора, еколошки профил је повољнији. Утицај на животну средину за алуминијумски прозор када је процењен животног век 50 година је 1,25, док је у случају процењеног животног века од 60 година тај утицај повољнији и износи 1,04. Најнеповољнији утицај на животну средину за алуминијумски прозор је у случају када је процењени животног век 30 година и тада износи 2,08 еко тачака [20].

Међутим, овај аспект животног циклуса једва да утиче на резултате упоредне анализе јер *PVC* прозор који се користи 30 година има еколошки утицај 0,0183. Другим речима *PVC* са процењеним животним веком од 30 година и даље је еколошки повољнији од алуминијумског прозора чији је животног век процењен на 60 година [20].

4.2.4.3. Различити сценарији одлагања

У *LCA* анализи је претпостављен исти сценарио одлагања за оба прозора. *PVC* и алуминијумски елементи, шарке, ручице, оков и пластика се рециклирају, гума се делимично спаљује и одлаже на депонију [20].

Различити сценарији одлагања нису значајно допринели промени утицаја на животну средину (слика 41).



Слика 41. Утицај на животну средину – различити сценарији одлагања [20].

Утицај на животну средину алуминијумског прозора се није променио (~ 1,25), док је код *PVC* прозора благо порастао са 0,0139 до 0,022. Последица благог раста утицаја на животну средину настала је услед нижег процента рециклираних компоненти и повећања спаљивања компоненти и трајног одлагања на депоније.

Овакви резултати су реални, јер фаза производње (*PVC* и алуминијумског прозора) има највећи удео у утицају на животну средину [20].

5. Закључак

Анализа животног циклуса је алат за процену утицаја производа на животну средину. У грађевинској индустрији, односно индустрији прозора и врата, најзаступљенија је примена *PVC* и алуминијумских профила.

Овај рад представља преглед досадашњих истраживања у области анализе животног циклуса прозора од алуминијумских и *PVC* профила. *LCA* је обухватила све процесе материјала који се користе за производњу производа, анализу енергије, емисија и отпада које производ “емитује” кроз целокупни животни циклус.

Животни циклус производа започет је експлоатацијом минерала и ресурса који су неопходни за производњу сировине, а завршен је коначним одлагањем производа.

За алуминијумски прозор димензија 1465 mm x 1436 mm процењен је животни век на 50 година, док је за *PVC* прозор истих димензија животни век процењен на 40 година. Приказани резултати су у односу 1:1,25, што значи да је један алуминијумски прозор поређен са 1,25 *PVC* прозора.

Резултати се односе на три основне категорије штетности:

- 1) здравље људи: канцерогене супстанце, респираторне емисије (неорганска и органска једињења), климатске промене, зрачење, озонски слој. (Изражава се као: година прилагођавања инвалидности).
- 2) квалитет екосистема: екотоксичност, ацидификација/еутрофикација, употреба земљишта. (Изражава се као: потенцијални нестанак фракција).
- 3) ресурси: минерали и фосилна горива. (Изражава се као: вишак енергије потребне за будуће активности [*МЈ*]) [20].

Предност је могућност рециклаже челика који се користи за производњу шарки, окова, ојачања и других елемената алуминијумских и *PVC* прозора. Процес рециклаже се такође примењује када су у питању профили од којих се прозори производе (алуминијум и *PVC*), али и када су у питању стакла. Процес рециклаже позитивно се одражава на утицај на животну средину.

Утицај на животну средину, као резултат анализе животног циклуса алуминијумског и *PVC* прозора износи:

- 13,9 еко тачака за *PVC* прозор и
- 1250 еко тачака за алуминијумски прозор.

Повољнији резултати са становишта животне средине су наклоњени прозору израђеном од *PVC* профила. Са чак 1250 еко тачака, утицај на животну средину за прозор направљен од алуминијумског профила је неповољан.

Однос утицаја на животну средину прозора направљених од алуминијумских и *PVC* профила износи 1:90, што се може приписати великој количини енергије која се користи за производњу алуминијумских профила. Евентуално смањење односа утицаја на животну средину може се остварити применом процеса екструзије алуминијума.

Упркос високом рециклажном потенцијалу, алуминијумски прозор је далеко неповољнији са аспекта заштите животне средине у односу на прозор направљен од *PVC* профила.

6. Литература

- [1] Чарапина Х., Јовић А. и Степанов Ј. “Оцена животног циклуса LCA (Life Cycle Assessment)” као инструмент у стратешком планирању управљана отпадом. Сремска Каменица, 2010.
- [2] Николић Д. Анализа животног циклуса, скрипта за предавања, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2017.
- [3] SRPS ISO 14040:2008 Управљање заштитом животне средине– Оцењивање животног циклуса – Принципи и оквир, Институт за стандардизацију Србије, Београд 2008.
- [4] Marc-Andree Wolf, Rana Pant, Kirana Chomkhamsri, Serenella Sala, David Pennington (2012): International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook – Towards more sustainable production and consumption for a resource-efficient Europe. JRC Reference Report, EUR 24982 EN. European Commission – Joint Research Centre. Luxembourg. Publications Office of the European Union; 2012.
ISBN 978-92-79-21640-4 (PDF)
- [5] European Environment Agency. Life Cycle Assessment: A guide to approaches, experiences and information sources, 1997.
- [6] Scientific Applications International Corporation. Life Cycle Assessment: Principles and Practice, May 2006.
- [7] Вјештица С. Докторска дисертација: Модел управљања утицајима процеса производње подних облога на животну средину применом методе оцењивања животног циклуса (LCA). Нови Сад, 2014.
- [8] Чарапина Х., Јовић А. и Степанов Ј.. Оцена животног циклуса LCA (Life Cycle Assessment) као инструмент у стратешком планирању управљана отпадом. Сремска Каменица, 2010
- [9] Интернет страница:
<https://repozitorij.unin.hr/islandora/object/unin:156/preview.pdf>
Пристапљено 14.10.2018
- [10] Goedkoop M. at al. The Eco-indicator 99 – Methodology report, PRé Consultants B.V. 2000.
- [11] Интернет страница:
<http://www.bpf.co.uk/plastipedia/polymers/PVC.aspx>
Пристапљено 14.10.2018
- [12] Интернет страница:
https://www.homeimprovementpages.com.au/article/choosing_water_pipes_for_plumbing
Пристапљено 14.10.2018
- [13] Интернет страница:
<https://www.rehau.com/us-en/windows/rehau-advantage/extrusion/1933596>
Пристапљено 14.10.2018

[14] Интернет страница:

<http://www.varnetglasshousesystems.com/page/aluminium>

Пристапљено 14.10.2018

[15] Интернет страница: <http://www.etem.rs/products/e1000>

Пристапљено:14.10.2018.

[16] Интернет страница: <http://www.etem.rs/products/e45-ecs>

Пристапљено:14.10.2018.

[17].M. Asif, A. Davidson, T.Muneer “Life cycle od window materials – A comparative assessment” School of Engineering, Napier University, Edinburgh, U.K.

[18] Katherine M. Switala-Elmhurst, LEED AP and Philip D. Udo-Inyang, “Life Cycle Assessment of Residential Windows: Saving Energy with Window Restoration”University of Philadelphia, 2014.

[19]. Ghada Elshafei, Abdelazim Negm: “Life Cycle Assessment as a Decision Making for Window Performance Comparison in Green Building Design”, World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Architectural and Environmental Engineerinr, 2015

[20] Ireneusz Zbicinski, John Stavenuiter, Barbara Kozlowska, H.P.M. van de Coevering, “Product Design and Life Cycle Assessment”, The Baltic University Press, 2006
ISBN: 91-975526-2-3

[21] Michiel Oele, Ruba Dolfing: “SimaPro Full Update Instructions”, SimaPro, 2016

[22] J. O’Hare,E. Cope& S. Warde: “Fife steps to eco design” Improving the Environmental Performance of Products through Design, Granta Design Limited, 2015