

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
АРХИТЕКТОНСКИ ФАКУЛТЕТ

Анђела Н. Посавец

**ОПТИМИЗАЦИЈА ФАСАДА ВИСОКИХ
ОБЈЕКТА ПРИМЕНОМ ПРИНЦИПА
ЦИРКУЛАРНЕ ЕКОНОМИЈЕ**

Докторска дисертација

Београд, 2024

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF ARCHITECTURE

Anđela N. Posavec

**TALL BUILDINGS FACADE OPTIMISATION
BASED ON THE PRINCIPLES OF
CIRCULAR ECONOMY**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2024

Ментор:

др Будимир Судимац, редовни професор
Универзитет у Београду – Архитектонски факултет

Чланови комисије:

др Дарија Гајић, ванредни професор
Универзитет у Бањој Луци, Архитектонско-грађевинско-геодетски факултет

др Јелена Милошевић, доцент
Универзитет у Београду, Архитектонски факултет

др Бојана Зековић, доцент
Универзитет у Београду, Архитектонски факултет

Датум одбране:

Током рада на докторској дисертацији сам, између осталог, прочитала мисао да ће остварена висина објекта у највећој мери зависити од стабилности конструкције темеља на којима је изграђен. Аналогно томе, сматрам да је за сваког човека од највећег значаја усађивање исправних животних вредности, као поуздане основе за даљи развој и напредак. Захваљујем се својим родитељима на чврсто постављеним темељима, охрабривању ка даљем усавршавању и константној подршци на мом путу ка достизању замишљених висина.

ОПТИМИЗАЦИЈА ФАСАДА ВИСОКИХ ОБЈЕКТА ПРИМЕНОМ ПРИНЦИПА ЦИРКУЛАРНЕ ЕКОНОМИЈЕ

Резиме

Грађевинска индустрија се сматра највећим загађивачем животне средине, јер је одговорна за потрошњу трећине природних ресурса на глобалном нивоу, као и за 40% укупне емисије штетних гасова. Високи објекти представљају једну од типологија која изузетно доприноси овим негативним утицајима на животну средину, јер њихова комплексност захтева примену специфичних технологија градње које се повезују са значајном потрошњом грађевинских материјала и енергије. Упркос томе, у савременој архитектонској пракси се примењује изградња све виших објеката у Европи, као последица повећања броја становника и убрзаног развоја градова. Овај тренд је тренутно актуелан и у Београду, где је током последње деценије изграђено више високих објеката него у претходних 50 година. Из тог разлога се у оквиру докторске дисертације истражују могућности оптимизације високих објеката, односно конкретније њихових фасадних омотача, од којих у великој мери зависи њихов укупни утицај на животну средину.

Тренутно се у грађевини примењује модел линеарне економије који је дугорочно неодржив, јер подразумева неограничену експлоатацију природних ресурса у фазама изградње и коришћења објеката. Додатни проблем се јавља у фази рушења објеката, када се ствара и велика количина отпада која се одлаже на депоније. У циљу смањења негативних последица овог модела на животну средину, тежи се преласку на примену циркуларне економије. Циљ концепта циркуларне економије је омогућавање константног кружења ресурса, за чије је остваривање у случају зграда неопходна примена различитих стратегија које ће омогућити поновну употребу производа и материјала од којих су изграђене. Тиме се смањује екстракција природних ресурса за иницијалну производњу грађевинских компоненти, као и количина отпада на крају животног века зграде, јер се једном искоришћени материјали враћају у поновни процес производње.

Примена стратегија циркуларне економије на фасадни омотач се истражује кроз нумеричке анализе индикатора утицаја на животну средину, који се односе на потрошњу природних и фосилних ресурса, загађење воде, земљишта и ваздуха, стварање отпада, потрошњу обновљивих и необновљивих извора енергије. На основу истраживања се изводе закључци о утицају одлука донесених током архитектонског пројектовања фасадног омотача на његов укупни циркуларни потенцијал, а самим тим и на целокупан животни циклус високог објекта. Циљ истраживања је формирање методолошког поступка који се може користити као пример свеобухватног сагледавања животног циклуса објекта, релевантан за процену утицаја примене стратегија циркуларне економије на оптимизацију како целог објекта, тако и његових појединачних елемената.

Кључне речи: индикатори циркуларног потенцијала, оцена животног циклуса зграде, потрошња и поновна употреба ресурса, уграђена и оперативна енергија, емисија угљен-диоксида

Научна област: Архитектура и урбанизам

Ужа научна област: Технологије у архитектури и менаџмент и биоклиматска и еколошка архитектура

УДК: 692.23:72.01:628.4(043.3)

TALL BUILDINGS FACADE OPTIMISATION BASED ON THE PRINCIPLES OF CIRCULAR ECONOMY

Abstract

The construction industry is the biggest polluter of the environment, as it is responsible for the consumption of one third of all natural resources and energy at the global level, as well as 40% of the total carbon dioxide emissions. Tall buildings are one of the typologies that significantly contributes to those negative impacts on the environment, since they require the application of specific construction technologies that are associated with high consumption of energy and building materials. Despite this, the construction of high-rise buildings in Europe is increasing, as a consequence of the rapid development of cities. This trend is also current in Belgrade, where more high-rise buildings were built during the last decade than in the previous 50 years. For this reason, the possibilities of optimizing high-rise buildings is the research topic of this doctoral dissertation. more precisely, the research is focused on their building envelopes, on which their overall environmental impact largely depends.

Currently, the linear economy model is applied in construction, which implies the unlimited exploitation of natural resources in all phases of the building life cycle. An additional problem arises in the phase of demolition of buildings, when a large amount of waste is deposited in landfills. In order to reduce the negative consequences of this model on the environment, a transition to the application of a circular economy is required. The goal of the circular economy concept is the constant circulation of resources, which requires the application of various strategies that will enable the reuse of construction products and materials. This could reduce the extraction of natural resources for the initial production of building components, as well as the amount of waste at the end of the building's life, as materials once used are returned to the manufacturing process.

The optimization of the facade envelope is investigated through numerical analysis of environmental impact indicators, which relate to the consumption of natural and fossil resources; water, soil and air pollution; waste generation; consumption of renewable and non-renewable energy sources. Based on the results of the research, conclusions are drawn about the impact of the decisions made during the architectural design of the facade envelope on its overall circular potential, and therefore on the entire life cycle of the tall building. The goal of the research is the formation of a methodology that can be used as an example of a comprehensive review of the life cycle of an object, relevant to the assessment of the impact of the application of circular economy strategies on the optimization of the entire object or its individual elements.

Keywords: circularity indicators, building life cycle assessment, resource consumption and reuse, embodied and operational energy, CO₂ emissions

Scientific field: Architecture and urbanism

Area of expertise: Technology in architecture and management and bioclimatic and ecological architecture

UDC: 692.23:72.01:628.4(043.3)

САДРЖАЈ

1. УВОД	1
1.1 ПОВОД ИСТРАЖИВАЊА И УВОДНЕ НАПОМЕНЕ О ТЕМИ	1
1.2 ПРОБЛЕМ И ПРЕДМЕТ ИСТРАЖИВАЊА	2
1.3 ЦИЉЕВИ ИСТРАЖИВАЊА	4
1.4 ЗАДАЦИ ИСТРАЖИВАЊА	5
1.5 ПОЛАЗНЕ ХИПОТЕЗЕ ИСТРАЖИВАЊА	6
1.6 НАУЧНЕ МЕТОДЕ ИСТРАЖИВАЊА	7
1.7 НАУЧНА ОПРАВДАНОСТ ДИСЕРТАЦИЈЕ И ОЧЕКИВАНИ РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА	8
1.8 СТРУКТУРА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ	10
2. ВИСОКИ ОБЈЕКТИ: ОД ПОЈЕДИНАЧНИХ ФОРМИ ДО ГЛОБАЛНОГ ТРЕНДА	12
2.1 ОДРЕЂИВАЊЕ ПОЈМА ВИСОКИ ОБЈЕКАТ	12
2.2 ОД ПОЈЕДИНАЧНИХ ФОРМИ ДО ГЛОБАЛНОГ ТРЕНДА	15
2.2.1 Симбол америчког капитализма	15
2.2.2 Стаклено-челичне кутије модернизма	18
2.2.3 Глобални тренд	20
2.2.3.1 Иконичне структуре	22
2.2.3.2 Символи локалне културе	23
2.3 АНАЛИЗА ИЗГРАДЊЕ У ЕВРОПИ ТОКОМ 20. И 21. ВЕКА	25
2.4 ВИСОКИ ОБЈЕКТИ У БЕОГРАДУ	28
2.4.1 Преглед изградње високих објеката у Београду	28
2.4.1.1 Стамбени објекти	28
2.4.1.2 Објекти пословне и комбиноване намене	29
2.4.2 Карактеристике високих објеката Београда	30
2.4.2.1 Градске визуре	31
2.4.3 Студија високих објеката	32
2.4.3.1 Предложене зоне за изградњу високих објеката	33
2.5 УТИЦАЈИ НА РАЗВОЈ ФАСАДНИХ ОМОТАЧА ВИСОКИХ ОБЈЕКАТА	35
2.5.1 Развој фасадних омотача високих објеката	35
2.5.2 Концепт одрживости и утицај високих објеката на животну средину	37
2.5.3 Потрошња енергије у високим објектима	39
2.5.4 Уграђена и оперативна енергија високих објеката	40
2.5.5 Савремени фасадни системи	42

3. ЦИРКУЛАРНА ЕКОНОМИЈА У ГРАЂЕВИНСКОЈ ИНДУСТРИЈИ И АРХИТЕКТУРИ **44**

3.1 КОНЦЕПТ ЦИРКУЛАРНЕ ЕКОНОМИЈЕ	44
3.1.1 Разлика између линеарне и циркуларне економије	45
3.1.2 Дефиниција циркуларне економије	48
3.2 ПРИНЦИПИ И СТРАТЕГИЈЕ ЦИРКУЛАРНЕ ЕКОНОМИЈЕ	49
3.3 ЕВРОПСКЕ И НАЦИОНАЛНЕ РЕГУЛАТИВЕ	51
3.4 ЦИРКУЛАРНА ЕКОНОМИЈА У ГРАЂЕВИНСКОЈ ИНДУСТРИЈИ	54
3.4.1 Утицај грађевинске индустрије на животну средину	54
3.4.1.1 Проблем грађевинског отпада у Европи и Србији	55
3.4.2 Промене у грађевини и архитектури условљене концептом ЦЕ	56
3.4.2.1 Позиција циркуларне економије у животном циклусу објеката	57
3.4.2.2 Веза циркуларне економије и животног века делова објеката	60
3.5 ПРИМЕНА СТРАТЕГИЈА ЦИРКУЛАРНЕ ЕКОНОМИЈЕ У АРХИТЕКТУРИ	62
3.5.1.1 Анализа стратегија фирме АРУП и фондације Елен Мек Артур	65

4. МЕТОДОЛОШКИ ПОСТУПАК ОПТИМИЗАЦИЈЕ ФАСАДНИХ ОМОТАЧА ПРИМЕНОМ ПРИНЦИПА И СТРАТЕГИЈА ЦИРКУЛАРНЕ ЕКОНОМИЈЕ **69**

4.1 МЕТОДОЛОГИЈА ОПТИМИЗАЦИЈЕ ФАСАДА ВИСОКИХ ОБЈЕКТА	69
4.2 ДЕФИНИСАЊЕ ОСНОВНИХ МОДЕЛА ФАСАДА	70
4.3 ФАСАДНИ ОМОТАЧИ СА СТАНОВИШТА ЦИРКУЛАРНЕ ЕКОНОМИЈЕ	73
4.4 ИСТРАЖИВАЊЕ МОГУЋНОСТИ ОПТИМИЗАЦИЈЕ ОСНОВНИХ МОДЕЛА ФАСАДА	77
4.4.1 Анализа актуелног развоја фасадних производа у односу на концепт ЦЕ	78
4.4.2 Прикупљање података од произвођача	79
4.4.3 Декларације производа за животну средину	81
4.4.3.1 Анализа база података	84
4.4.3.2 Ограничења примене декларација за фасадне омотаче	84
4.5 АНАЛИЗА ПОТЕНЦИЈАЛА И ОГРАНИЧЕЊА ПРИМЕНЕ СТРАТЕГИЈА ЦИРКУЛАРНЕ ЕКОНОМИЈЕ НА ФАСАДНЕ ОМОТАЧЕ ВИСОКИХ ОБЈЕКТА	85
4.5.1 Анализа фасадних система основних модела МА и МВ у односу на нивое примене стратегија ЦЕ	85
4.5.2 Потенцијали и ограничења примене стратегија циркуларне економије на елемент зид-завесе основних модела	89
4.5.2.1 Ниво примене: Материјали	89
4.5.2.2 Ниво примене: Елементи и компоненте	93
4.5.2.3 Ниво примене: Систем	97
4.5.3 Преглед одабраних принципа и стратегија циркуларне економије за оптимизацију основних модела фасадних омотача	99

5. ПРОРАЧУН ИНДИКАТОРА ЦИРКУЛАРНОГ ПОТЕНЦИЈАЛА И ПРОЦЕНА ЖИВОТНОГ ЦИКЛУСА ЗА ФАСАДНИ СЕГМЕНТ ОСНОВНИХ И ОПТИМИЗОВАНИХ МОДЕЛА	100
5.1 ДЕФИНИСАЊЕ КРИТЕРИЈУМА ЗА КВАНТИФИКАЦИЈУ	100
5.1.1 Индикатор циркуларног потенцијала	102
5.1.2 Индекс демонтаже	107
5.1.3 Оцена животног циклуса фасадног омотача	110
5.1.3.1 Прилагођавање основне методе LCA за прорачун два животног циклуса фасаде	113
5.2 ПРОРАЧУН ФАСАДНОГ СЕГМЕНТА ОСНОВНИХ МОДЕЛА	115
5.2.1 Инвентар за прорачун фасадних сегмената основних модела МА и МВ	115
5.2.2 Резултати прорачуна индикатора циркуларног потенцијала	119
5.2.2.1 Порекло и потенцијали поновне употребе материјала	119
5.2.2.2 Индекс демонтаже	120
5.2.2.3 Индикатор циркуларног потенцијала у фазама производње, употребе и краја животног циклуса	121
5.2.3 Резултати прорачуна утицаја на животну средину – оцена животног циклуса	123
5.2.4 Систематизација података из прорачуна основних модела	130
5.3 ДЕФИНИСАЊЕ ОПТИМИЗОВАНИХ МОДЕЛА	131
5.4 ПРОРАЧУН ФАСАДНИХ СЕГМЕНАТА ОПТИМИЗОВАНИХ МОДЕЛА	132
5.4.1 Инвентар за прорачун оптимизованих модела	132
5.4.2 Резултати прорачуна индикатора циркуларног потенцијала	134
5.4.2.1 Порекло и потенцијали поновне употребе материјала	134
5.4.2.2 Индекс демонтаже	136
5.4.2.3 Индикатор циркуларног потенцијала компоненти фасадног сегмента	138
5.4.3 Резултати прорачуна утицаја на животну средину	141
5.4.3.1 Потенцијал глобалног загревања - <i>GWP tot</i>	141
5.4.3.2 Потенцијал ацидификације, еутрофикације и формирања фото-хемијског озона – AP, Epfr и POCP	143
5.4.3.3 Потрошња минералних и фосилних ресурса – ADPe и ADPf	147
5.4.3.4 Укупна потрошња обновљивих и необновљивих извора енергије - PERT и PENRT	150
5.4.3.5 Одлагање штетног, неопасног и радиоактивног отпада – HWD, NHWD и RWD	153
5.5 ПРОРАЧУН ПРОМЕНА У ПОТРОШЊИ ЕНЕРГИЈЕ ХИПОТЕТИЧКОГ ОБЈЕКТА У ЗАВИСНОСТИ ОД ПРИМЕЊЕНИХ СТРАТЕГИЈА ОПТИМИЗАЦИЈЕ ФАСАДНОГ ОМОТАЧА	157
5.5.1 Дефинисање хипотетичког високог објекта у Београду	157
5.5.2 Провера утицаја оптимизације фасадног омотача на потрошњу оперативне енергије хипотетичког високог објекта у климатским условима Београда	159
5.5.2.1 Подаци за прорачун енергије током употребне фазе објекта	159
5.5.2.2 Оперативна енергија оптимизованих модела високог објекта изражена кроз емисију угљен-диоксида	161

6. ДИСКУСИЈА РЕЗУЛТАТА И ПРОЦЕНА УТИЦАЈА ПРИМЕЊЕНИХ ПРИНЦИПА И СТРАТЕГИЈА ЦИРКУЛАРНЕ ЕКОНОМИЈЕ	164
6.1 ДИСКУСИЈА РЕЗУЛТАТА ПРОРАЧУНА ЦИРКУЛАРНОГ ПОТЕНЦИЈАЛА И УТИЦАЈА НА ЖИВОТНУ СРЕДИНУ НА ОСНОВУ УПОРЕДНЕ АНАЛИЗЕ ФАСАДНИХ СЕГМЕНАТА ОСНОВНИХ И ОПТИМИЗОВАНИХ МОДЕЛА	164
6.1.1 Индикатор циркуларног потенцијала у односу на оптимизацију материјала, демонтаже и животног века компоненти	164
6.1.2 Утицаји на животну средину фасадних сегмената	168
6.2 ПРОЦЕНА ЕМИСИЈА CO₂ ФАСАДНОГ ОМОТАЧА У ОДНОСУ НА ПОТРОШЊУ ЕНЕРГИЈЕ ВИСОКОГ ОБЈЕКТА У ЗАВИСНОСТИ ОД ОПТИМИЗАЦИЈЕ ЦИРКУЛАРНОГ ПОТЕНЦИЈАЛА ФАСАДНОГ ОМОТАЧА	180
6.3 АНАЛИЗА УТИЦАЈА ПРИМЕЊЕНИХ ПРИНЦИПА И СТРАТЕГИЈА ЦИРКУЛАРНЕ ЕКОНОМИЈЕ НА ОПТИМИЗАЦИЈУ ФАСАДНОГ ОМОТАЧА	184
7. ЗАКЉУЧАК	187
7.1 ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА	187
7.2 ПРАВЦИ ДАЉЕГ ИСТРАЖИВАЊА	192
8. ЛИТЕРАТУРА	193
9. ПРИЛОЗИ	204
ПРИЛОГ 1. АНАЛИЗА ВИСОКИХ ОБЈЕКТА У ЕВРОПИ У ОДНОСУ НА ПЕРИОД ИЗГРАДЊЕ, ВИСИНУ И НАМЕНУ	204
ПРИЛОГ 2. ИСТРАЖИВАЊЕ УТИЦАЈА ПРОИЗВОДЊЕ РАВНОГ СТАКЛА И РАЗЛИЧИТИХ КОНФИГУРАЦИЈА ТЕРМОИЗОЛАЦИОНИХ СТАКЛЕНИХ ПАКЕТА НА ЖИВОТУ СРЕДИНУ	213
ПРИЛОГ 3. АНАЛИЗА УТИЦАЈА ФАСАДНИХ СИСТЕМА НА ЖИВОТНУ СРЕДИНУ У ОДНОСУ НА ДИМЕНЗИЈЕ ФАСАДНИХ ПОЉА И КОЛИЧИНУ УГРАЂЕНИХ МАТЕРИЈАЛА	220
ПРИЛОГ 4. ИНВЕНТАР ЗА ПРОРАЧУН ОСНОВНИХ И ОПТИМИЗОВАНИХ МОДЕЛА	230
ПРИЛОГ 5. ДЕТАЉНИ ПРИКАЗ РЕЗУЛТАТА ПРОРАЧУНА ЗА ФАСАДНИ СЕГМЕНТ ОСНОВНИХ И ОПТИМИЗОВАНИХ МОДЕЛА	251
ПРИЛОГ 6. УПОРЕДНИ ПРИКАЗ РЕЗУЛТАТА ПРОРАЧУНА УТИЦАЈА НА ЖИВОТНУ СРЕДИНУ ТОКОМ ЖИВОТНОГ ЦИКЛУСА ФАСАДНОГ СЕГМЕНТА ОПТИМИЗОВАНИХ МОДЕЛА	266
СКРАЋЕНИЦЕ И СИМБОЛИ	272
ПОПИС ИЛУСТРАЦИЈА	273
ПОПИС ТАБЕЛА	275
БИОГРАФИЈА АУТОРА	277
ИЗЈАВА О АУТОРСТВУ	278
ИЗЈАВА О ИСТОВЕТНОСТИ ШТАМПАНЕ И ЕЛЕКТРОНСКЕ ВЕРЗИЈЕ ДОКТОРСКОГ РАДА	279
ИЗЈАВА О КОРИШЋЕЊУ	280

1. УВОД

1.1 ПОВОД ИСТРАЖИВАЊА И УВОДНЕ НАПОМЕНЕ О ТЕМИ

Константан раст броја становника довео је до угрожавања животне средине услед неконтролисане експлоатације природних ресурса и повећања емисије штетних гасова. Процењено је да претходне стратегије одрживости, које су предлагале решење наведених проблема преласком на коришћење обновљивих извора енергије нису довољне, јер је њихова употреба још увек врло ограничена и не омогућава смањење негативних утицаја на животну средину до задовољавајућег нивоа. Због ограничења досадашњег модела линеарне економије који подразумева неограничену експлоатацију природних ресурса установљен је нови модел циркуларне економије, који се залаже за глобалну сигурност природних ресурса, борбу са климатским променама и очување животне средине. Модел циркуларне економије, се може тумачити као пословни модел чији је циљ свеобухватно унапређење стратегија које се примењују у циљу постизања одрживог развоја.

У линеарној економији се материјали и енергија крећу у једном смеру, односно производ се на крају животног века одлаже на депонију чиме се у потпуности губи вредност ресурса који су у њега иницијално уграђени. Циркуларна економија тежи да промени линеарни модел тако што ће га учинити кружним. Уместо одлагања отпада препоручује се примена стратегија које ће га вратити у производну фазу и тиме га искористити као секундарну сировину. Она предлаже оптимизацију појединачних система у циљу омогућавања поновне употребе материјала од којих су сачињени. На тај начин се смањује количина отпада тиме што се једном искоришћени материјали поново враћају у процес производње чиме се избегава поновна екстракција природних ресурса и штеди енергија потребна за ове процесе. Циркуларна економија подразумева стратегије обнове, поправке, поновне употребе или рециклаже са циљем да се продужи животни век сваког материјала, уз тежњу употребе енергију добијену из обновљивих извора у тим процесима.

У извештајима о негативним утицајима на животну средину често се истиче проблем грађевинске индустрије као једног од највећих загађивача са становишта емисије угљен-диоксида. Она је одговорна за потрошњу 35-45% природних ресурса и 25-40% глобалне енергије (Rompré & Moncaster, 2017). Из наведених разлога тренутно се врше бројна истраживања примене циркуларне економије у грађевинској индустрији која представља посебан изазов за циркуларну економију, јер је током изградње објеката укључен велики број струка, произвођача, инвеститора и корисника.

У складу са порастом истраживања примене циркуларне економије у грађевинској индустрији развијају се нови архитектонски концепти. Тежња ка оптимизацији негативних утицаја које зграде имају на животну средину је условила примену различитих решења фасадних омотача у циљу смањења потрошње енергије током фазе употребе објекта, али се то у већини случајева подразумева иницијално већу потрошњу ресурса и енергије потребних за њихову изградњу. Овакав приступ није у складу са

концептом циркуларне економије која тежи редукцији потрошње ресурса и смањења негативних утицаја на животну средину избегавањем нових производних процеса. Овај проблем је нарочито изражен на објектима великог габарита, као што су високи објекти где фасадни омотач има велики утицај на укупно уграђену количину материјала у објекат и негативне емисије које се са њом повезују. Посматрањем савремене архитектонске праксе у изградњи високих објеката у Београду током претходних година, примећен је тренд изградње све виших објеката, након паузе у њиховој изградњи у периоду од 1980. до 2010 године. Типологија високих објеката која је некада била карактеристична за Америку и Азију све више је присутна и у Европским градовима услед њиховог убрзаног развоја и повећаног броја становника. Овакав нагли пораст изградње високих објеката забрињава, јер је потрошња енергије и ресурса за њихову изградњу еквивалентна количини која се користи за изградњу већег броја објеката мање спратности, због чега је оптимизација њихових утицаја на животну средину предмет представљеног истраживања.

1.2 ПРОБЛЕМ И ПРЕДМЕТ ИСТРАЖИВАЊА

Предмет истраживања докторске дисертације је сагледавање могућности оптимизације негативних утицаја зграда на животну средину применом принципа циркуларне економије. Основни предмет истраживања се односи на фасадни омотач високих објеката и анализу његовог целокупног животног циклуса у објекту.

На примеру фасада високих објеката се истражује утицај примене принципа и стратегија циркуларне економије на омогућавање кружења уграђених материјала током и након животног века објекта. Посебан нагласак је на процени утицаја примењених стратегија на потрошњу ресурса, загађења воде и ваздуха, стварање отпада, емисију угљен-диоксида и количину енергије потребну за производну, употребну и фазу рушења објеката.

Објекте које градимо данас остављамо наредним генерацијама и оне су те које ће морати да се суочавају са њиховим рушењем и великом количином грађевинског отпада. Како фаза коришћења објекта износи у просеку 60 до 100 година учесници у његовом планирању и изградњи морају бити свесни да одлукама током процеса планирања у великој мери утичу на количину природних ресурса и енергије која ће се користити у овом дугогодишњем периоду, али и тога шта се дешава на крају његовог животног циклуса. Због тога је значајна примена принципа циркуларне економије од самог почетка процеса архитектонског планирања зграда. Фокус истраживања је на примени принципа циркуларне економије током пројектовања у циљу оптимизације животног циклуса објеката.

Значај предмета истраживања је у томе што у домаћој литератури нема истраживања која се баве применом принципа циркуларне економије у архитектури, нити целокупним животним циклусом објеката. Такође, нема истраживања која се баве типологијом високих објеката са становишта утицаја архитектонског концепта на потрошњу ресурса и енергије током њиховог животног века, због чега се процењује да је неопходно испитати наведене аспекте узимајући у обзир чињеницу да је ова типологија последњих година заступљена и у нашем окружењу. У односу на све изазове са којима

се свет данас сусреће попут климатских промена, недостатака ресурса и повећања загађења и негативних утицаја на животну средину, уз сагледавање актуелне архитектонске праксе у главном граду Србије, постављена је главна тема овог истраживања, а подразумева оптимизацију потрошње ресурса и енергије током животног циклуса високих објеката. Актуелност теме се огледа у томе што се кроз истраживање сагледава примена циркуларне економије и дају смернице за њихову примену током архитектонског пројектовања.

Нагласак истраживања је на могућностима примене принципа циркуларне економије на фасадне омотаче високих објеката у циљу оптимизације њиховог целокупног животног циклуса. Фасаде високих објеката су површински доминантне у односу на остале делове конструкције, а имају просечан животно век од 25 до 30 година, што значи да се морају променити неколико пута за време целокупног животног века објекта. Додатно, оне представљају посебан изазов са аспекта циркуларне економије јер се сматрају једним од најкомплекснијих система високих објеката, који се састоји се од многобројних елемената и различитих материјала, док са друге стране имају значајну улогу на укупан енергетски биланс објекта.

Временско одређење предмета истраживања је усмерено на савремено доба, уз претпоставку да ће предмет истраживања нарочито бити актуелан у будућности. Просторно одређење је ограничено на подручје града Београда, односно конкретно на једну од локација која је предвиђена за изградњу високих објеката према Студији високих објеката у оквиру Генералног урбанистичког плана Београда 2021. Функционално одређење предмета истраживања се односи на пословне објекте, на нивоу услова комфора и режима коришћења простора који утичу на фасадни омотач објекта.

Главни проблеми са којима се сусреће ово истраживање су недовољно испитане теме примене циркуларне економије у архитектури, а нарочито током процеса планирања. Примену овог концепта додатно отежава неопходност свестраног сагледавања фасадних омотача у односу на различите аспекте, за шта је неопходно прикупљање великог борја података о свим материјалима који су у њих уграђени.

Проблем истраживања је формирање хипотетичких модела фасадних омотача високих објеката и процена потенцијала њиховог унапређења са становишта циркуларне економије, као и дефинисање критеријума и нумеричких параметара на основу којих ће се квантификовати остварена оптимизација утицаја на животну средину.

1.3 ЦИЉЕВИ ИСТРАЖИВАЊА

Основни циљ истраживања је формулисање методолошког поступка којим ће се омогућити оптимизација потрошње материјала од којих је сачињен фасадни омотач високих објекта, на основу примене принципа циркуларне економије. Кроз додатну оптимизацију циркуларног потенцијала фасада на крају њиховог животног века, повећавају се могућности за поновну употребу материјала и елемената од којих су сачињене, што за циљ има смањење негативних утицаја фасаде на животну средину током животног циклуса.

Пројектовање фасадних омотача у највећој мери зависи од визуелног концепта пројектанта због чега ово истраживање тежи да прикаже свеобухватнију стратегију размишљања која подразумева свестрано сагледавање утрошених ресурса за један фасадни омотач, обухватајући процесе од екстракције сировина, преко процеса производње и уградње, и употребу до краја његовог века у једном објекту. Додатно се тежи давању смерница за оптимизацију фасада применом принципа циркуларне економије, кроз пример конкретног објекта у Београду.

У односу на постављених примарних циљ издвајају се следећи секундарни циљеви истраживања:

- Испитивање метода примене принципа и стратегија циркуларне економије на пројектовање фасадних омотача високих објеката;
- Научно описивање методологије за проналажење оптималног решења фасадног омотача са аспекта циркуларног потенцијала и утицаја на животну средину;
- Дефинисање параметара релевантних за евалуацију остварених бенефита у зависности од корака примењеног поступка оптимизације;
- Процена утицаја пројектантских одлука и примењених стратегија циркуларне економије на фасадних систем кроз анализу индикатора циркуларног потенцијала и утицаја на животну средину;
- Утврђивање утицаја поступка оптимизације циркуларног потенцијала фасадног сегмента на смањење потрошње енергије и емисију угљен-диоксида током целокупног животног циклуса високог објекта;
- Указивање на значај свеобухватног сагледавања примене и нумеричке процене стратегија циркуларне економије и дефинисање препорука за оптимизацију циркуларног потенцијала фасадног омотача.

1.4 ЗАДАЦИ ИСТРАЖИВАЊА

На основу постављених циљева, дефинисани су следећи задаци истраживања:

- Систематизација релевантних извора о предмету рада и анализа претходних научних истраживања из области циркуларне економије и фасадних омотача високих објеката;
- Испитивање могућности примене принципа и стратегија циркуларне економије на планирање, изградњу и употребу зграда;
- Формирање основних модела фасадних сегмената на основу анализа савремених фасадних омотача високих објеката и специфичности захтева за њихово планирање;
- Формирање хипотетичког модела високог пословног објекта уз дефинисање конкретних параметара климатских услова, форме, спратности, оријентације и локације објекта на коме се испитује утицај оптимизације;
- Идентификација и селекција принципа и стратегија циркуларне економије применљивих на пројектовање фасадног омотача и утврђивање потенцијала оптимизације основних модела;
- Дефинисање метода испитивања и критеријума за процену поступка оптимизације, односно квантитативних параметара који ће се пратити и поредити.
- Прикупљање података о карактеристикама материјала уграђених у фасадни сегмент, њиховим производним процесима, животном веку у оквиру елемената и могућностима њихове поновне употребе;
- Прорачуни дефинисаних индикатора за процену циркуларног потенцијала и утицаје на животну средину и нумеричке симулације за процену потрошње енергије објекта;
- Валоризација и компаративна анализа резултата прорачуна;
- Извођење закључака и дефинисање препорука за примену резултата истраживања и представљеног методолошког поступка.

1.5 ПОЛАЗНЕ ХИПОТЕЗЕ ИСТРАЖИВАЊА

У складу са претходно изнетим проблемима, задацима и циљевима истраживања дефинисане су следеће хипотезе:

Хипотеза 1

Могуће је формирати методолошки поступак у ком се на основу примене стратегија циркуларне економије у процесу планирања, остварује оптимизација фасадног омотача током његовог целокупног животног циклуса.

У оквиру истраживања представља се методолошки поступак којим се процењују потенцијали примене принципа и стратегија циркуларне економије на фасадни сегмент, у циљу укупне оптимизације фасаде високог објекта. Провера ове претпоставке врши се на основу поређења нумеричких вредности различитих индикатора циркуларног потенцијала за фасадни сегмент.

Хипотеза 2

Пројектовање фасадног омотача са аспеката оптимизације циркуларног потенцијала омогућава продужетак животног века и поновну употребу материјала и елемената од којих је сачињен, чиме се смањује његов утицај на загађење животне средине.

Истраживање подразумева примену стратегија којима се тежи омогућавању поновне употребе и рециклаже материјала фасадног омотача након демонтаже, и оптимизације њиховог употребног века. Провера ове претпоставке врши се на основу поређења резултата оцене животног циклуса за различите индикаторе утицаја на животну средину, који се односе на загађење ваздуха, воде и земљишта, потрошњу необновљивих и обновљивих извора енергије, потрошњу ресурса и стварање различитих врста отпада.

Хипотеза 3

Оптимизација фасадног омотача применом принципа циркуларне економије доводи до редукације потрошње ресурса и директно доприноси смањењу укупне емисије угљен-диоксида целог објекта.

Постављена претпоставка се истражује на основу испитивања утицаја примењених стратегија циркуларне економије на фасадни омотач хипотетичког модела високог пословног објекта. У периоду од 60 до 100 година колико износи просечан животни век једног објекта, фасадни омотач се мора заменити неколико пута, чиме се понавља потрошња уграђене енергије за његову производњу што подразумева повећање укупне потрошње енергије објекта током целокупног животног циклуса. На основу прорачуна емисије угљен-диоксида која се везује за производну, употребну и фазу краја животног века се процењује утицај циркуларног потенцијала на кумулативну потрошњу енергије током целокупног животног века објекта.

1.6 НАУЧНЕ МЕТОДЕ ИСТРАЖИВАЊА

Провера хипотеза и постављених циљева истраживања спроводи се у три правца који подразумевају примену више општих и посебних научно-истраживачких метода које се међусобно допуњују и надовезују у функцији остваривања везе свих сегмената истраживања.

Истраживање почиње прикупљањем података у циљу формирања информационе основе састављене од примарних и секундарних библиографских извора о друштвеним и технолошким аспектима изградње високих објеката као и концепту циркуларне економије.

Први правац истраживања се огледа у сагледавању архитектонске праксе изградње високих објеката уз нагласак на карактеристике њихових фасадних омотача. Анализирају се различити утицаји на изградњу високих објеката, као и различита технолошка достигнућа која су утицала на развој њихових фасадних омотача. Додатном анализом утицаја концепта одрживости на фасадне омотаче високих објеката, изводе се закључци о карактеристикама савремених фасадних система који се касније примењују на дефинисање основних модела фасада.

Други правац истраживања подразумева интердисциплинарну теоријску анализу постојећих научних истраживања из доступне литературе која се бави темом циркуларне економије, на основу чега се систематизацијом података утврђују савремени приступи примене начела циркуларне економије у грађевинској индустрији и потенцијали примене у раним фазама архитектонског пројектовања. Критичком анализом садржаја постојећих научних истраживања референтне литературе врши се систематизација информација о ограничењима примене концепта циркуларне економије у архитектури.

Синтеза сазнања из извора литературе који подразумевају истраживања концепта циркуларне економије, фасада високих објеката и потрошње енергије током животног циклуса високих објеката омогућава постављање теоријског оквира релевантног за даљи ток истраживања. Детаљном анализом потенцијала примене стратегија циркуларне економије на фасадне омотаче високих објеката, дефинишу се оне које се могу применити у циљу унапређења основних модела односно формирања оптимизованих модела.

У циљу провере постављених хипотеза спроводи се трећи правац истраживања који подразумева примену квантитативних метода кроз које се проверавају претходно дефинисани основни модели фасада. Процена утицаја примене стратегија циркуларне економије захтева вишекритеријумску оптимизацију потрошње ресурса и енергије током целокупног животног циклуса објекта и подразумева појединачне нумеричке прорачуне за све животне фазе: уграђене енергије у фази производње, оперативне енергије у употребној фази објекта као енергије за рушење, рециклажу или поновну употребу на крају животног века објекта, узимајући у обзир могућу поновну употребу или рециклажу уграђених елемената, као и различите утицаје на животну средину.

Метод на ком се заснива методолошки поступак за утврђивање утицаја фасадног омотача на животну средину се је процена животног циклуса који карактерише свеобухватни прорачун потреба за изградњу, употребу и одржавање објекта током периода од 50 година, као и сценарио коришћења уграђених материјала на крају

животног циклуса. Овај метод се додатно прилагођава и унапређује у циљу процене утицаја за више животних циклуса одређених компоненти фасадног омотача, како би се проценио утицај оптимизације фасаде са становишта циркуларне економије. прорачуном потрошње енергије и емисије угљен-диоксида на крају животног циклуса целог објекта или појединачних елемената у зависности од циркуларног потенцијала уграђених материјала. Нумерички прорачун уграђене енергије се заснива на процени потрошње енергије током сваког појединачног корака од екстракције природног ресурса, производње материјала, производње фасадног елемената, обнове, демонтаже, рушења и одлагања материјала. Прорачун наведених параметара врши се у компјутерском софтверу на основу података произвођача о појединачним материјалима уграђеним у фасадне склопове, природи веза елемената склопа и карактеристикама производног процеса. Прорачун оперативне енергије потребне за грејање и хлађење објекта спроводи се методом енергетске симулације у одговарајућем БИМ програму на основу анализе 3Д модела хипотетичког објекта, уз дефинисање локације, оријентације, форме, спратности, конструкције, намене објекта, климатских услова и прецизних термичких карактеристика претпостављених основних и оптимизованих фасадних склопова. Математички модел за процену индикатора циркуларног потенцијала материјала заснован је на примени методе одређивања циркуларног индекса материјала који се добија на основу података о могућностима рециклаже или поновне употребе материјала, а зависи од природе самог материјала, његовог очекиваног животног века и природом везе са другим материјалима уграђеним у исти фасадни склоп.

Евалуација резултата заснована је на упоредној анализи кумулативних вредности одабраних индикатора циркуларног потенцијала и демонтаже, као и утицаја на животну средину за основне и оптимизоване моделе фасадних сегмената. Кроз критичку анализу резултата прорачуна у односу на целокупни животни циклус објекта се процењује утицај примењених стратегија циркуларне економије у поступку оптимизације.

На основу компаративне анализе и систематизације свих добијених резултата извешће се закључци о могућностима оптимизације фасадног омотача, установити утицај и међусобна повезаност примењених стратегија током планирања и дефинисати препоруке за пројектовање фасадних омотача високих пословних објеката у климатским условима града Београда у складу са принципима циркуларне економије.

1.7 НАУЧНА ОПРАВДАНОСТ ДИСЕРТАЦИЈЕ И ОЧЕКИВАНИ РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Научна оправданост истраживања се у највећој мери сагледава у односу на актуелне светске проблеме недостатка природних ресурса и загађење животне околине због превелике потрошње енергије добијене из необновљивих извора, што кроз повећану емисију угљен-диоксида доводи до значајних климатских промена. У складу са чињеницом да грађевинска индустрија има велики удео у претходно наведеним проблемима, неопходна је енергетска оптимизација свих објеката који се тренутно планирају и граде.

Тема истраживања је актуелна са теоријског и практичног становишта, јер је пројектант тај од кога потиче основна идеја пројекта и одлуке које он доноси у процесу

пројектовања могу бити кључне за целокупни животни циклус објекта. С обзиром да је потрошња ресурса и енергије у свим фазама животног циклуса једног објекта уско повезана са архитектонским концептом који подразумева дефинисање оријентације, форме објекта, конструкције, фасадног омотача и организације простора, од изузетног значаја је да савремени архитекти буду информисани о могућностима примене принципа циркуларне економије током процеса пројектовања и утичу на редукцију негативних утицаја изграђених објеката на животу средину.

Научни допринос истраживања је дефинисање методолошког поступака који се користи у сврху оптимизације целокупног животног циклуса фасадних омотача са становишта концепта циркуларне економије. У оквиру рада се истражују фасаде високих објеката, али је представљени методолошки поступак директно применљив и на друге типологије објеката, као и на друге елементе попут конструкције, инсталација и делове ентеријера.

Посебан допринос овог истраживања се огледа у томе што је свеобухватно посматрање целокупног животног века фасаде и објекта делимично обрађено у светској литератури, док није било предмет истраживања домаће литературе. У раду се посматра савремена архитектонска пракса изградње високих објеката у складу са концептима одрживог дизајна и истражују могућности примене принципа циркуларне економије. У односу на недостатак истраживања која се баве темом високих објеката у нашој средини, додатни допринос истраживања представља и сагледавање ове комплексне типологије са становишта потрошње ресурса и енергије, као и циркуларног потенцијала уграђених материјала.

Очекивани резултати истраживања су:

- систематизација знања из области циркуларне економије и њене примене у грађевинској индустрији и архитектури;
- идентификација принципа и стратегија циркуларне економије применљивих у архитектонској пракси, уз посебан осврт на пројектовање фасадних омотача;
- формирање референтних модела фасадних омотача високих пословних објеката који се испитују у климатским условима Београда;
- приказ могућности оптимизације потрошње ресурса и смањења негативних утицаја на животну средину фасадних омотача током њиховог целокупног животног века;
- дефинисање критеријума релевантних за процену остварене оптимизације у односу на ниво примене стратегија циркуларне економије од материјала, преко уграђених елемената и компоненти, до сагледавања фасадног омотача као комплексног система објекта;
- давање препорука за оптимизацију фасада високих објеката у складу са концептом циркуларне економије.

Конкретни нумерички резултати добијени у оквиру овог истраживања могу се користити као смернице за пројектовање фасадног омотача високог пословног објекта са становишта циркуларне економије у климатским условима Београда.

Практична примена истраживања се огледа у томе да се приказани методолошки поступак може користити као пример свеобухватног приступа оптимизацији зграда применом принципа и стратегија циркуларне економије. приказани методолошки поступак је релевантан за разумевање утицаја примене различитих стратегија циркуларне економије на животу средину у односу на одлуке донесене током процеса планирања.

1.8 СТРУКТУРА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

На основу постављених циљева и задатака планирано је да се истраживање спроведе у 7 фаза које се могу поделити на два основна дела - теоријски и експериментални.

У оквиру првог дела сагледава се теоријски оквир на основу кога се дефинишу повод и предмет истраживања предложене теме, систематизују претходна сазнања из релевантних области и формирају модели фасада који се детаљно обрађују у наредном, експерименталном делу истраживања. Први део састоји се из 4 фазе:

1. У првој фази износе се уводне напомене о теми уз претходну анализу информација о проблему и предмету истраживања, дефинишу циљеви и задаци, наводе научне методе, а затим објашњава научни допринос и очекивани резултати дисертације.
2. У другој фази истраживања сагледава се историјски развој високих објеката у свету, као и узлазни тренд изградње истих у главном граду Србије. Сагледавају се утицаји на развој фасадних омотача и њихове карактеристике, на основу чега се касније формирају хипотетички модели фасадног омотача који су предмет даљег истраживања.
3. Трећа фаза подразумева анализу концепта циркуларне економије, њених стратегија за постизање одрживости и актуелну глобалну тежњу за примену истих у свим индустријама. Кроз преглед савремених регулатива о постизању климатске неутралности сагледава се значај смањења експлоатације природних ресурса и загађење животне средине уз посебан нагласак на грађевинску индустрију. Додатно се сагледава целокупни животни циклус изграђеног објеката и анализира утицај одлука архитеката донесених током процеса пројектовања на све животне фазе објекта. Као посебни проблем издваја се разлика у животном веку појединачних елемената објеката и препознаје потенцијал примене циркуларне економије у оптимизацији животног циклуса фасадног омотача у односу на век трајања конструкције објекта. На основу анализе стратегија циркуларне економије, препознају се изазови за њихову имплементацију у процес архитектонског пројектовања.
4. Четврта фаза истраживања се бави дефинисањем основних модела фасада хипотетичког високог објекта пословне намене у Београду. Кроз анализу потенцијала примене принципа циркуларне економије на пројектовање фасадног омотача истражују се могућности за оптимизацију основних модела који ће бити испитивани у наредном делу истраживања. Ова фаза истраживања подразумева сагледавање развоја фасадне индустрије у односу на концепт циркуларне

економије кроз прикупљање података са тржишта и кроз интервјуе са представницима компанија које се баве производњом фасадних система или њихових појединачних компоненти.

У наставку докторске дисертације се спроводи експериментални део истраживања који подразумева прорачуне за конкретно дефинисане моделе фасада и њихове оптимизоване варијанте, након чега се на основу анализе резултата доносе закључци и указује на могуће правце даљег истраживања.

Други део обухвата 3 фазе:

5. Пета фаза представља главни део истраживања у оквиру кога се дефинишу критеријуми на основу којих се врше прорачуни параметара релевантних за процену циркуларног потенцијала фасадних сегмената. Они подразумевају прорачуне:

- уграђене количине материјала, као и анализу њиховог порекла и могућности поновне употребе на крају животног века у фасади,
- индикатор циркуларног потенцијала појединачних компоненти фасадног сегмента,
- индикаторе циркуларног потенцијала за цео фасадни сегмент у фазама производње, употребе и рушења,
- индикаторе утицаја на животну средину који се односе на потрошњу ресурса, енергије, одложене количине отпада, као и утицаје на загађење воде, ваздуха и земљишта,
- укупну потрошњу уграђене енергије фасадног омотача и његов утицај на промене у потрошњи оперативне енергије у високом објекту током животног века од 50 година.

Наведени параметри се прорачунавају на примеру основних модела фасадног сегмента, након чега се на основу резултата изводе закључци о потенцијалима унапређења и креирају оптимизовани модели за сваки од основних модела. Даље се врши прорачун свих параметара за оптимизоване моделе уз поређење добијених резултата.

6. У шестој фази се приказује упоредна анализа прорачуна свих индикатора циркуларног потенцијала и индикатора утицаја на животу средину у зависности од предузетих корака оптимизације фасадног сегмента. Додатно се врши провера утицаја примењених стратегија циркуларне економије на уграђену и оперативну енергију основних и оптимизованих модела, на нивоу целог фасадног омотача дефинисаног хипотетичког објекта у Београду. На основу анализе резултата процењује се утицај примењених принципа и стратегија циркуларне економије током појединачних фаза животног циклуса фасадног омотача високог објекта, као и током његовог целокупног животног века.

7. У последњој фази износи се закључак о резултатима истраживања, дају препоруке за примену предложене методологије у пракси уз сагледавање могућих праваца за даља истраживања.

2. ВИСОКИ ОБЈЕКТИ: ОД ПОЈЕДИНАЧНИХ ФОРМИ ДО ГЛОБАЛНОГ ТRENDA

2.1 ОДРЕЂИВАЊЕ ПОЈМА ВИСОКИ ОБЈЕКАТ

Не постоји глобално утврђена и јединствена дефиниција високог објекта, јер се услед константног повећања висине изграђених објеката, ближе одређивање овог појма значајно мењало кроз време. Тако су високим објектима крајем 19. века сматрани они који имају више од 10 спратова, односно висину око 40 метара. Већ почетком 20. века они се дефинишу као објекти који имају више од 25 спратова, односно висину од око 100 метара, уз карактеристичну скелетну челичну конструкцију и стаклену фасаду. Данас, када је могућа изградња објеката и до 800 метара, висина не представља једини параметар на основу кога се одређени објекти сврставају у ову категорију. Савремена истраживања указују да је, поред висине, неопходно узети у обзир и друге специфичне карактеристике ових објеката, а односе се на примењене технологије градње и контекст у коме се налазе.

У страној литератури најчешће се наводе појмови високи објекат и небодер односно облакодер, док се у Србији додатно користе и појмови кула и солитер.¹ Појам куле одговара називу небодер, док се солитер односи на високе објекте стамбене намене. На основу систематизације података из анализиране литературе, утврђене су следеће разлике између наведених појмова:

- **Високи објекат** (енглески *tall building, high-rise building*):

Појам високог објекта се првенствено дефинише законима за заштиту од пожара и у највећем броју земаља подразумева објекте чија висина пода последњег коришћеног спрата прелази 22 метра мерено од нивоа улице, што представља висинску границу до које се примењују стандардне мере гашења пожара.

Високи објекат је у Србији дефинисан *Правилником о техничким нормативима за заштиту високих објеката од пожара* као објекат „чији се подови највишег спрата налазе најмање 30 m изнад коте терена на коју је могућ приступ ватрогасним возилима ради гашења и спасавања, и са које је могућа интервенција уз коришћење ауто-механичких лестви или других специјалних возила намењених гашењу и спасавању са висина“.²

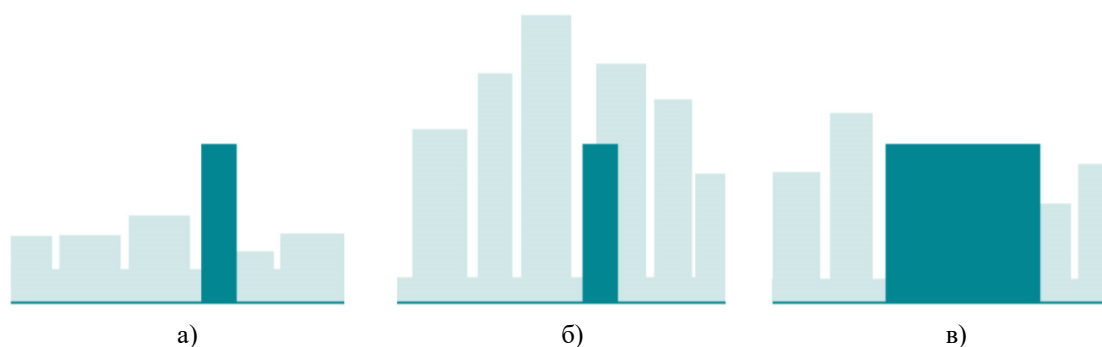
¹ У страној литератури се сусреће и појам торањ (енг. tower), који се налази у званичним називима појединих интернационалних високих објеката као нпр. *Shanghai Tower, Central Park Tower* или *Petronas Twin Towers*. Међутим, у Србији се појам торањ најчешће користи за објекте техничке намене, попут телекомуникационих торњева. Ови објекти се не убрајају у високе, јер иако често имају опсервационе платформе за посетиоце, нису намењени сталном боравку корисника.

² Службени гласник РС. (бр. 80/2015, 67/2017 и 103/2018). *Правилник о техничким нормативима за заштиту високих објеката од пожара*. Члан 2, 1.

У највећем броју научних истраживања се за одређивање појма високог објекта користе смернице организације *Council of Tall Buildings and Urban Habitat*³, која спратност и висину објекта не сматра јединим релевантним критеријумом за сврставање објекта у ову категорију. Иако се као почетна референца одређује минимална висина објекта од 50 метара, уводе се три додатна критеријума која се односе на конструкцију, контекст и примењене технологије градње:⁴

1. Висина објекта у односу на окружење

Први критеријум разматра висину објекта у односу на контекст у коме је изграђен. Објекат висине од 100 метара се сматра високим у окружењу где остали имају висину 20 метара (Слика 1а), док се исти објекат у контексту групације објеката виших од 200 метара сагледава другачије (Слика 1б).



Слика 1. Доживљај објекта исте висине у зависности од контекста (а и б), као и пропорција објекта (в).
(Ауторска илустрација, по узору на *CTBUH*: <https://www.ctbuh.org/resource/height>)

2. Пропорције објекта

Значајан критеријум су и пропорције, јер се високим објектом сматра онај код кога је висина значајно доминантнија у односу на његову ширину и дужину. Иако два објекта имају исту висину, у зависности од осталих димензија односно габарита основе, њихове пропорције се различито сагледавају (Слика 1б и 1в).

3. Примена специјализованих технологија градње

Специјализоване технологије градње високих објеката се у највећој мери огледају у комплексним конструктивним системима. Повећањем висине објекта расте његова изложеност утицају хоризонталних сила, због чега је отпорност конструкције на силе земљотреса и ветра код ових објеката од кључног значаја (Taranath, 2010). Поред тога, карактеришу их и специјализовани механички и фасадни системи, као и системи вертикалног транспорта.

³ *Council on Tall Buildings and Urban Habitat* представља водећу светску организацију која се бави истраживањем високих објеката, основану 1976. године. У оквиру њиховог *Skyscraper* центра могу се наћи најновија истраживања о високим објектима док се научни радови објављују у часопису *CTBUH Journal: The International Journal on Tall Buildings and Urban Habitat*.

⁴ Council on Tall Building and Urban Habitat. *CTBUH Height Criteria for Measuring & Defining Tall Buildings*. <https://www.ctbuh.org/resource/height> (приступљено 01.07.2022)

- **Небодер или кула** (енглески *skyscraper*):

Појам небодер или кула се односи на изузетно високе објекте, код којих је вертикална димензија знатно доминантнија у односу на хоризонталну (Ђорђевић-Цигановић & Михаљевић, 2011).

Council of Tall Buildings and Urban Habitat дефинише небодере као објекте чија висина прелази 150 метара а услед достизања све већих висина уводи и појмове *superskyscraper* (објекат чија висина прелази 300 метара) и *megaskyscraper* (објекат виши од 600 метара).

Поред претходно наведених параметара, високе објекте одређује и функционално коришћење простора, које је заправо значајније приликом искључивања одређених објеката из ове категорије. Код високих објеката неопходно је да више од 50% површине објекта (искључујући техничке просторије) буде намењено дуготрајном боравку корисника. Објекти који испуњавају овај услов се карактеришу као високи објекти јединствене намене уколико се више од 85% површине користи у исту сврху, односно мешовите намене, ако обједињују неколико различитих функција.

Иако висина није једини критеријум према ком се објекти сврставају у групацију високих, она је најзначајнија за рангирање ових објеката на светском нивоу. Објекти се рангирају према висини измереној од нивоа земље до архитектонског врха, иако се код мерења узимају у обзир и додатне категорије:

- Висина до архитектонског врха: мерено од нивоа земље, односно нивоа најнижег спољашњег пешачког улаза до врха конструктивних елемената објекта (искључујући техничку опрему).
- Висина последњег спрата корисног простора: мерено од нивоа земље, односно нивоа најнижег спољашњег пешачког улаза до завршног слоја пода последњег спрата (нивоа) који се користи.
- Висина до највише тачке објекта, без обзира на материјализацију и намену (укључујући антене, носаче застава, безбедносне ознаке, и сличну функционално-техничку опрему).⁵

На примеру другог највишег објекта на свету, *Shanghai Tower*, очигледно је да разлика између претходно наведених висина може бити значајна. Висина до архитектонског врха износи 632 метра, док је последњи ниво који се користи на коти од 561 метар. Још већа разлика приметна је код објекта *Willis Tower* у Чикагу, код кога је архитектонски врх на висини од 442 метра, а највиша тачка објекта на 527 метара.

На основу представљене систематизације сазнања о параметрима на основу којих се одређени објекат дефинише као високи, а у односу на предмет истраживања докторске дисертације, у даљем току научног рада овај појам се односи на објекте више од 50 који се као урбани репери издвајају из окружења представљајући вертикалну доминантну у визури града.

⁵ Council on Tall Building and Urban Habitat. *CTBUH Height Criteria for Measuring & Defining Tall Buildings*. <https://www.ctbuh.org/resource/height> (приступљено 01.07.2022)

2.2 ОД ПОЈЕДИНАЧНИХ ФОРМИ ДО ГЛОБАЛНОГ ТРЕНДА

Тежња грађења у висину постоји од давнина, вековима уназад се значајни објекти граде са циљем да постану истакнуте доминанте у силуети градова. У прошлости је примарно питање било како изградити што виши објекат, док се данас поставља питање зашто су високе зграде постале неизбежне у силуети савремених градова и зашто се гради све више њих у 21. веку? Мотивација за грађење високих објеката може се пронаћи у њиховој великој симболичкој моћи која истиче идентитет града у односу на друге, и на тај начин метафорично показује моћ и напредак друштва. Такође, савремене метрополе се суочавају са проблемима велике густине насељености и презаузетости грађевинског земљишта што решавају изградњом високих објекта, који не само да доприносе укупној атрактивности градских визура већ нуде и смештање великог броја функција у једном објекту позиционираном на доброј локацији. Градови који су до сада били препознатљиви по свом историјском наслеђу, последњих деценија настоје да формирају и нова, модерна језгра града и тиме постану препознатљиви на светском нивоу.

Истраживање високих објеката подразумева проучавање различитих аспеката који утичу на њихову изградњу, али и утицај самих небодера на непосредно окружење. На почетку потребно је установити околности и потребе које су условиле њихов настанак као и оне које данас покрећу њихову све већу изградњу широм света. Пројектовање високих зграда условљавале су пре свега технолошке и конструктивне могућности као и економска исплативост (Willis, 1995). Након почетног брзог развоја ове типологије, критичари су почели да преиспитују стварну потребу за њиховом изградњом (Gottmann, 1966). Током 1980-их започета је дискусија о њиховом утицају на окружење и силуете градова у којима су се издвајали као вертикалне доминанте, које се посматрају као изоловане јединице, а не саставни делови града. С обзиром да постизање великих висина више није био проблем са технолошког аспекта, архитекти су се затим фокусирали на стварање везе између небодера и окружења како би ови објекти постали делови урбаних целина у којима се налазе. Последњих година пажња се више посвећује одрживости, иновацијама, форми и стварању иконичних структура. Без обзира на мотив изградње, високи објекти су током претходних деценија постали глобални тренд који мења начин на који доживљавамо градове.

2.2.1 Симбол америчког капитализма

На почетку треба сагледати друштвене факторе који су утицали на стварну потребу за изградњом високих објеката. Након грађанског рата 1870-их година, забележен је пораст популације у Чикагу и град је започео значајан развој индустрије и административних послова. Ово је довело до све веће потражње пословних простора, пораста вредности земљишта, пореза на имовину и цена за изнајмљивање. У великом пожару који се у догодио 1871. године изгорела је већина пословних зграда које су имале дрвену конструкцију, и требало је брзо пронаћи начин за обнову пословних простора постојећих компанија. Решење је пронађено у изградњи вишеспратних објеката лоцираних у центру града, јер су били једини начин да се оправда куповина толико скупог земљишта (Webster, 1959). Организација простора по висини је била логичан корак у тренутку када је цена земљишта била велика, а ови објекти омогућавају да се на

малој парцели по вертикали сместе функције које би у ниско-етажним објектима заузимале неколико парцела (Willis, 1995).

У почетку су грађени објекти до 9 спратова масивним системом градње који је убрзо достигао свој лимит јер је са порастом висине долазило до превеликог повећања дебљине зидова на нижим спратовима због чега се смањивала површина корисног простора. Са технолошког аспекта на изградњу и развој високих објеката утицали су развој конструктивног скелетног система и челика, затим појава лифта, као и иновације система унутрашњег осветљења и вентилације. Како је свака од наведених иновација водила ка новим формама, неминовно је утицала и на естетске карактеристике високих објеката. Високи објекти су као комплексне грађевинске структуре уско повезани са бројним дисциплинама, али је њихов настанак и даљи развој у највећој мери зависио од технолошких иновација. Високи објекти представљају једну од типологија у којој се најбоље огледа напредак технологија грађења, материјала и конструктивних система кроз историју (Moon, 2013). Веза између високих објеката и технологије је узајамна, јер је са једне стране технолошки напредак на првом месту и омогућио њихову изградњу, док је са друге стране, жеља за градњом све виших објеката подстакла значајне иновације. Потреба за изградњом у висину је мотивисала технолошка достигнућа и сваки високи објекат представља симбол конструктивних могућности одређеног времена.

Изградња високих објеката је крајем 19. и кроз цео 20. век била присутна првенствено у Чикагу и Њујорку, а затим и осталим градовима Америке, где се испољавала национална опседнутост симболизмом висине. Првим небодером сматра се Home Insurance Building са челичном конструкцијом висине 10 спратова изграђена 1885. године након чега је уследила изградња објеката висине до 20 спратова широм Чикага. Зигфрид Гидион у књизи Простор, време и архитектура износи ставове о Чикашкој школи за коју сматра „да је имала неубичајену чистоту архитектонског израза.“⁶ Чикашка школа је повезана са развојем модерне канцеларијске зграде која је имала масивну камену фасаду и скелетни конструктивни систем. Луис Саливан (Louis Sullivan) је предводио Чикашку школу током 80-их година 19 века коју је карактерисала рационалност високих објеката (Перовић, 2000). Он у есеју *The tall office building artistically considered* говори да и у високим објектима форма следи функцију и да ови објекти представљају униформну мрежу стубова и фасаде код које се издвајају три дела, приземље, одређен број истих спратова и наглашен завршни део, попут капитела код класичног стуба (Sullivan, 1896). Саливан је истицао да су високи објекти настали због пораста броја становника и још важније појаве челичне конструкције, док је његов сарадник Данкмар Адлер (*Dankmar Adler*) сматрао да пројектовање ових објеката не сме подразумевати само технолошки аспект већ да укључује друштвени контекст и замисао самог архитекте (Leslie, 2010).

Иако је Чикаго био град у коме је настао концепт високог објекта, Њујорк је град у коме је ова типологија остварила највећи напредак. Од 1900. године високи објекти почињу да се граде и у Њујорку, од којих су најпознатији *Flat Iron Building* (изграђен 1903. године), *Chrysler Building* (1930) и *Empire State Building* (1931). Њујорк је град повезан са акумулацијом капитала и његова архитектура то симболизује. Као што се

⁶ Зигфрид Гидион. (2012). *Простор, време и архитектура: развој нове традиције*. Београд: Грађевинска књига, стр. 500.

људи диве моћи и лепоти природе, тако се и кроз облакодере диве оне што је човек изградио. Поглед са облакодера је поглед на капитализам, омогућава да се са висине посматра град, и све оно што је испод, остале зграде и људи, постају мање важни јер сте издигнути изнад града и масе (De Certeau, 1984). Џон Гос (*John Goss*) сматра да ове објекте треба схватати у економском погледу индустријског капитализма јер су повезани са комплексном поделом рада и логиком акумулације капитала (Goss, 1988). Гидион пореди високе објекте Чикага и Њујорка, објашњавајући да су административне зграде Чикага са својих петнаест до двадесет спратова имале достојанства, снаге и смелости, док је облакодеру Њујорка ове особине недостају. Он истиче да њујоршком облакодеру недостаје сразмера, то је само један торањ који својом претераном висином безобзирно ниподаштава околину и целокупну структуру града (Гидион, 2012).

Луис Мамфорд (*Lewis Mumford*) је у есеју „*America and Alfred Stieglitz: A Collective Portrait*“ наглашавао визуелну доминантност небодера сматрајући да су добили назив по једрима бродова (*skysail-skyscraper*) јер се врхови небодера на Менхетну попут врхова бродова први уочавају с мора. Мона Домош (*Mona Domosh*) сматра да облакодере на Менхетну треба читати као одраз корпоративне културе и пореди их са огромним билбордима који рекламирају своју корпорацију (Domosh, 1988). Улагања су била велика, а нису постојала никакве урбанистичке регулације што је довело до тога да банке и осигуравајућа друштва граде превисоке објекте само због њиховог репрезентативног карактера. Јавност је постала заинтересована за то који ће бити следећи највиши објекат, медијски су праћени конкурси а објекти су промовисани знатно пре него што су били изграђени.

Развој високих објеката је повезан са развојем бирократске организације и стварање концепта канцеларија са отвореним планом да би се омогућило да што већи број људи ради на мањој површини. Поред стварне потребе за простором, високи објекти су грађени и као одраз моћи одређених корпорација. Изградња објекта који ће надмашити висину објекта пословне конкуренције, била је нарочито присутна. Керол Вилис (*Carol Willis*) сматра да су финансије главни узрок изградње ових објеката, повезује их са пословним простором и његовим рентирањем (Willis, 1995). Из финансијских разлога проналажени су начини за добијање веће корисне површине, тежња да се рационализује простор који радник користи, како би у једном објекту било што више радника и већи број мањих предузећа, што би значило већи број ренти за изнајмљивање.

Високи објекти су били повезани са проналажењем национализма и онога што ће Америци дати препознатљив идентитет. Ови објекти су касније и на глобалном нивоу прихваћени као архитектонска форма која представља симбол америчке цивилизације. Како Еверард Милер Упџон (*Everard Miller Upjohn*) наводи не може се одредити један град и један архитекта који су одговорни за развој ових објеката (Upjohn, 1935). Масовна изградња високих објеката створила је нове силуете градова са узвишеним метафорама торњева који показују понос своје средине на оно што Америка постиже (Dupré, 2013; Ford, 1994). Анри Лефевр (*Henri Lefebvre*) високе објекте посматра као форме које желе да импресионирају својом доминантном структуром и простором око ње, и искажу моћ капитализма (Stanek, 2011). Повезана са технолошким развојем високих зграда, ширила се нада да „модерна архитектура може такође да представља амерички идентитет и групу

вредности другачијих од оних из европског модернизма.⁷ Силуете Њујорка и Чикага су биле заслужне за формирање слике града будућности, са безброј кула, које су фотографисане из ваздуха и штампане као разгледнице које су се слале у свет (Barr, 2013). Одлучност Америке да се кроз високе објекте представи свету најбоље се огледа у примеру изградње кула Светског трговинског центра, које су постале симбол економске моћи (Glanz & Lipton, 2003). Инвеститор је било одлучан да створи највише објекте на свету, чуда капитализма и модерне технологије од 110 спратова упркос политичким проблемима, док је архитекта Минору Јамасаки (*Minoru Yamasaki*) сматрао да је довољно да се изгради 80 спратова јер „би рекорд који би постигли кратко трајао, док их неко не надмаши.“⁸ Изградња објеката који су виши од претходних је управо оно што је карактерисало архитектуру Америке кроз цео двадесети век.

2.2.2 Стаклено-челичне кутије модернизма

Током 19. и 20. века изградњи високих објеката су допринели појава челика, лифта, клима уређаја и вештачког осветљења. Зидани зидови су још увек били у пракси али се површина прозора повећавала као и висина зграда. Иако су прозори били све већи и даље су били зидани као отвори у зиданим зидовима. Неколико технолошких достигнућа је довело до наглог развоја високих објеката са стакленим фасадама. Један од њих је одвајање конструктивног система објекта од фасаде односно посматрања фасаде као посебне компоненте - опне.

Архитекта који је допринео стварању идеје о стакленом небодеру био је Мис ван дер Роје који је за конкурс у Франфурту 1921. године предложио стаклени небодер. Наредне године он је направио студију о стакленом небодеру која је објављена у многим тадашњим часописима. Иако овај објекат никада није изведен имао је велики утицај на формирање визије о модернистичком небодеру. Неки од првих изграђених високих објеката који су пратили ову визију су *Lakeshore Drive* изграђен у Чикагу 1949. године и Сиграм зграда изграђена у Њујорку 1957. архитекте Мис ван дер Роје као и *Lever House* у Њујорку 1951. године архитектонског бироа *Skidmore Owings and Merrill*.

Џенкс издваја више типова грађевина на којима су архитекти током 20. века показивали своју вештину, међу којима су се нашли високи пословни објекти окарактерисани као мрачна решења-црне кутије иза којих се крије богатство компанија. Ови објекти повезани су са интернационалним стилем који се временом све више идентификовао са бирократијом кроз низ анонимних израза корпоративне Америке, објеката који су крили разноврсност садржаја иза истоветних стаклених фасада зид-завеса (Џенкс, 1990). Исто мишљење има и Мамфорд који је сматрао да су високи објекти нарушавају аутентичност градова и доприносе стварању слике колективног идентитета у коме иза истих фасада ради група сличних људи која се идентично понаша и губи сваки индивидуализам.

⁷ Милош Перовић. (2000). *Историја модерне архитектуре: антологија текстова. Књига 2/А: Кристализација модернизма, Велики мајстори*. Београд: Универзитет у Београду - Архитектонски факултет, стр. 56.

⁸ James Glanz и Eric Lipton. (2003). *City in the sky : the rise and fall of the World Trade Center*. New York: Times Books, стр. 108.

Роберт Вентури (Robert Venturi) додаје да форма „крутог правоугаоног облика који је израстао из техничких захтевна скелетних структура и масовно произведених зид-завеса“ негира било какву могућност постојања разноврсности садржаја и искључује могућност постојања било каквог простора сем канцеларија.⁹ Објекти модернизма представљају метафоре технологије и економичности, заснивају се само на рационалним аспектима цене и функционалности простора, док се негира било какво симболичко значење (Фремптон, 2004). Савршено изведена зид-завеса је постала универзални симбол великих корпорација, и Џенкс је тумачи као одраз њихове хладноће, професионалности и безличности (Џенкс, Нова парадигма у архитектури, 2007).

Критика високих објеката крајем 19. и током 20. века се односила на појединачне пројекте али је знатно више била повезана са широм сликом пребрзе урбанизације града, униформности објеката модернизма или стања капиталистичког друштва. Изградња ових објеката је довела до тога да су градови сматрани нехуманим, тамне улице изнад којих се издижу ови арогантни објекти изазвали су негодовање људи који живе у њиховим сенкама. О високим објектима и њиховом везом са градом писала је и Џејн Џејкобс (Jane M. Jacobs) која је у својим текстовима настојала да промени поглед на високе објекте модернизма које многи доживљавају као форме које својом једноличношћу нарушавају разноликост која би требало да постоји у граду. Насупрот томе, Џејкобс предлаже да се високи објекти не сагледавају као артефакти који исказују униформност као последицу глобализације већ као масивни хибридни системи који вешто обједињују разноликости унутар себе и тиме наглашавају диверзитет у градовима.

Са друге стране они су били неизоставни део утопијских пројеката градова будућности. Ле Корбизје је сматрао да је време да се превазиђу пренасељени градови са уским улицама и да се остваре велики планови које је Огист Пере (Auguste Perret) називао градовима-кулама. Он је сматрао да је облакодер грађевински феномен америчког капиталистичког друштва и да би требало направити такав град у коме ће се подићи куле на неколико разређених тачака (Ле Корбизје, 2006). У таквим кулама би било могуће сместити све што се до тада налазило у закрченим улицама јер те куле „пружају у висину све оно што се до тада простирало по површини.“¹⁰ Један облакодер даје више корисног простора него цео блок а заузима знатно мању површину. Корбизје је сматрао да би такве импозантне куле представљале архитектуру достојну савременог света.

У плану за Савремени град за 3 милиона становника Ле Корбизје је у средиште, у златном пресеку површине градског плана, поставио пословне објекте висине 60 спратова, који су својом основом и формом подсећали на облике кмерских и индијских храмова. Било је замишљено да ови објекти „представљају световне центре моћи и замене религиозне грађевине традиционалног града.“¹¹ Симетрично организовани облакодери који су постављени слободно усред парка по Корбизјеовом мишљењу представљају мозак града јер су оличење административног простора из кога се управља

⁹ Роберт Вентури. (2008). *Сложености и противречности у архитектури* (превод О. Поповић). Београд: Грађевинска књига, стр. 104.

¹⁰ Ле Корбизје. (2006). *Ка правој архитектури*. Београд: Грађевинска књига, стр. 44.

¹¹ Кенет Фремптон. (2004). *Модерна архитектура критичка историја* (превод М. Николић) Београд: Орион арт, стр. 155.

целим градом и ова форма је „одговарајући симбол величанствености функције коју као објекат има.“¹²

За разлику од Ле Корбизјеа, Френк Лојд Рајт (Frank Lloyd Wright) није заговарао теорију да треба имати више високих објеката у плану града, у плану за *Broadacre city* је пројектовао само један облакодер. Више објеката ствара проблем пренасељености и загушења саобраћаја (Перовић, 2000). Рајт је упркос негативном ставу о високим објектима имао тежњу да их пројектује. Истраживао је технолошке могућности и материјале и допринео иновацији конструктивног система пројектујући језгро са конзолно постављеним спратовима. Он није скривао одушевљење савременим конструктивним могућностима, јер је „логично да се развија идеја високих објеката у ери челика и стакла.“¹³ Ипак сматрао је да тако настају стандардизоване зграде које трпе од недостатка индивидуалности и није желео да његови високи објекти зависе од елемената растера, рама и кутије (Wright, 1955). Настојао је да у пројектовању облакодера постигне супротност од класичних стаклених кутија чија је свака фасада била иста без обзира на оријентацију. Рајт је изазивао полемику својим пројектом за облакодер висок 1600 метара која је заправо била критика тежње да се граде све виши облакодери. Његов Принц торањ остаје једино успешно динамично решење високог објекта модернизма због контраста вертикалних и хоризонталних праваца (Ценкс, 1990).

Након бројних критика стаклено-челичних кутија модернизма, долази до тежње за изградњом другачијих форме и фасада у периоду постмодернизма. Значај се придаје плурализму и локалном идентитету, за разлику од универзалног приступа модерног покрета који је архитектуру посматрао само као проблем који треба решити. Постмодерна архитектура је понудила више могућности и тада је оживео један од најстаријих стереотипа облакодера, троделна поделу по вертикали. Ово је до изражаја дошло нарочито када је Филип Џонсон (Philip Johnson) пројектовао АТ&Т зграду насупрот свих њујоршких равно завршених облакодера, када се у медијима коментарисало да су „архитекти почели да украшавају кутију.“¹⁴ Зграда је представљала храбро одступање од дотадашњих равних кровова јер је архитекта покушао да оживи Саливанову идеју о облакодеру који се попут класичног стуба састоји из три дела.

2.2.3 Глобални тренд

Високи објекат који је настао као икона Америчке модерности и економске моћи, убрзо је постао тренд који се проширио и на остале делове света. Високи објекти су знатно напредовали од стаклено челичне кутије и данас се граде у целом свету, а некадашњи симбол Америке је постао показатељ развоја глобалних градова. Процес глобализације је допринео да високи објекти буду схваћени као интернационални

¹² Милош Перовић. (2000). *Историја модерне архитектуре: антологија текстова. Књига 2/А: Кристализација модернизма, Велики мајстори*. Београд: Универзитет у Београду - Архитектонски факултет, стр. 319.

¹³ Frank Lloyd Wright. (1955). *An American architecture*. New York: Horizon Press, стр. 122.

¹⁴ James Glanz и Eric Lipton. (2003). *City in the sky: the rise and fall of the World Trade Center*. New York: Times Books, стр. 475.

показатељи развоја, метафоре напретка и модерности кроз чију се изградњу различити градови и државе представљају свету.

Из Америке високи објекат се проширио на цео свет, првенствено на Европу али знатно више на земље Азије, где је изградња високих објеката била одговор на глобалну слику економске и политичке моћи коју су желели да преузму од Америке, а ови објекти су виђени као симболи напретка и уласка у нови миленијум. Лари Форд је у књизи *Cities and Buildings: Skyscrapers, Skid Rows, and Suburbs* дискутовао да високи објекти нису феномен који је заступљен само у Америци него постају глобални феномен који ствара нови тип заједница и мења социјалне, економске и културне карактеристике градова (Ford, 1994). Током Другог светског рата уследила је пауза у изградњи високих објеката да би током 1960.-их поново била започета не само у Америци већ и у Европи и Блиском истоку. Према подацима највећи број високих објеката данас се налази у Азији-59%, Северна Америка-27%, Европа-6%, Јужна Америка-4%, Аустралија-3%, Африка -%. Занимљива је чињеница да Хонг Конг тренутно има duplo више небодера од Њујорка.

Глобализација се манифестује кроз економску моћ градова који желе да буду конкурентни на светском нивоу прилагођавајући се захтевима савременог доба (Sklair, 2006). Сваки град жели да привуче инвестиције водећих светских компанија, што за последицу има изградњу пословних квартава са високим објектима у којима светске организације смештају своја представништва. Чарлс Џенкс тврди да је глобализација нарушила националне идентитете јер се сви труде да постану светске силе које привлаче људе и инвестиције док „окружење постаје све сличније у различитим деловима света.“¹⁵

Глобална економија је мењала поредак, а архитектура је коришћена да то изрази. У књизи *Spaces of Global Culture: Architecture, Urbanism, Identity* Ентони Кинг (Anthony King) кроз различите примере описује како глобализација утиче на промене урбане средине и архитектонске форме кроз критику социолошких и културолошких аспеката. Кинг наводи да је високи објекат кључни знак економске и политичке моћи, али сматра да се не сме занемарити и његова културна моћ и начин на који ови објекти мењају физичку структуру градова. Високи објекти су постали начин на који нације, градови, корпорације и појединци покушавају да изградњом препознатљивих објеката све веће висине презентују себе целом свету. Компаније пажљиво бирају места на којима ће подићи грандиозне симболе својих корпорација (King, 2004). Пример истицања снаге корпорације кроз високи објекат су Петронас куле у Малезији, које носе назив по нафтном гиганту и симболизују економску моћ земље (Pelli & Crosbie, 2001). Још један пример оваквог града је Дубаи, чија је амбиција да постане светски трговински центар (Davis, 2006), као и Кина која изградњом градова који имају све више високих објеката жели да у сваком смислу надмаши Америку (Sklair, 2006).

Високи објекти се граде као део глобалне трке између градова и држава без размишљања како се то односи на друштвене, социолошке и културолошке аспекте. Џејн Џејкобс (*Jane Jacobs*) истражује високе објекте са становишта културне географије и урбанизма, посматрајући их као физичке структуре које се у различитим светским

¹⁵ Чарлс Џенкс. (2007). *Нова парадигма у архитектури* (превод М. Милосављевић). Београд: Орион арт, стр 180.

контекстима имају различит ефекат на околину поставаљајући питање зашто је форма небодера постала глобални тренд (Jacobs, 2006).

Оно што је заједничко за све савремене градове је да теже да произведу одређене симболе и просторе који ће нагласити значај њихове средине. Да би задржале и нагласиле идентитет државе најчешће улажу у иконичну архитектуру која би требало да постане представник и показатељ везе између националне историје и савременог доба.

2.2.3.1 Иконичне структуре

У циљу издвајања из глобалне мреже поједини градови покушавају да архитектуром покажу и нагласе сопствени идентитет и међусобно се такмиче у стварању иконичне архитектуре са намером да привуку пажњу посматрача и медија. Тако Рем Кулхас (*Rem Koolhaas*) сматра да су високи објекти најчешћи примери иконичне архитектуре данас, да их дизајнирају познати архитекти само са циљем да направе што више и необичније структуре, критикујући их подједнако као објекте Менхетна које је у књизи „*Delirious New York: A Retroactive Manifesto for Manhattan*“ које је назвао мутантском архитектуром (Koolhaas, 1994). Он сматра да небодери више нису интересантни и да их треба убити представљајући то и графички. Своје мишљење о небодерима као иконама којих ће се људи ускоро заситити представио је на слици *Starchitecture Skyline*. Кулхас сматра да је небодер сувише идеализован и да временом постају све мање интересантни због глобалног успеха који тренутно постижу.

Један од најуспешнијих примера је град Лондон у чијој се силуети дешавају велике промене градњом савремених небодера. Џенкс наводи да је један од најбољих примера иконичне архитектуре небодер 30 St Mary Axe, дело архитекте Нормана Фостера. Објекат је познатији под називима *Swiss Re Tower* или *Gherkin Tower*, надимцима које су му дали локални становници. Својом савременом формом и фасадом објекат се знатно разликује од историјских целина по којима је Лондон познат ниједног тренутка их не нарушава, већ је прихваћен као симбол одрживости, савремених технологија и модерног времена. Након овог објекта изграђено је још небодера чији циљ није био да се покаже економска моћ већ су симболи промена и модерног доба. Атрактивност небодера у Лондону ниједног тренутка не скреће пажњу посетилаца са значајних културно-историјских целина, већ доприноси сагледавању промена времена које се доживљају кроз архитектуру.

О небодеру као објекту који се данас најчешће сматра иконичном архитектуром писала је Ада Луиз Хукстабл (*Ada Louise Huxtable*). Кроз пример небодера Хукстабл описује позитивне и негативне карактеристике иконичне архитектуре. Сматра да небодери јесу најбољи представници 21. века и да иза њих стоји моћ и похлепа испољена у монструозним структурама. Она сматра да су високи објекти постали сувише високи, наметљиви и деструктивни за своју околину (Huxtable, 1993). Хукстабл сматра да је у основи такмичења за стварање иконичне архитектуре жеља за показивањем моћи. Овакво мишљење има и Ентони Кинг (*Anthony King*) који посматра како је небодер као некадашњи симбол Америчке корпоративне моћи постао показатељ модерности градова широм света (King, 2004). Изградња високих објеката подразумева комплексне процесе, организацију и значајна улагања, али након почетних изазова они добијају велику културну и симболичку моћ као показатељи напретка друштва (Parker, 2015).

Ким Дови (Kim Dovey) говори о небодерима-иконама који стреме ка све већим висонама. Он сматра да се иконишна архитектура не може стварати тако што се градови труде да изграде што више необичних форми. Чим се заврши изградња једног објекта представљаног као симбола развоја града одмах се гради други. Због сваког новог објекта претходни се заборављају што доводи до тога да ни један од њих не постаје иконишан у очима посматрача. Он сматра да су три критеријума према којима се процењује иконишна архитектура: идентитет, моћ и легитимитет (Dovey, 2008). Због тога сматра да се данас високи објекти схватају само као тренутне иконе које убрзо буду замењене.

2.2.3.2 Симболи локалне културе

Поједини критичари тврде да високи објекти никако не могу допринети културним вредностима јер својом формом нарушавају окружење, постоје ван контекста, и тако наметљиви потцењују локални идентитет. Они критикују високе објекте због униформности, подржавајући став да сви личе на америчке стаклено-челичне кутије које се одатле, уз мало модификације, извозе у друге земље (Domosh, 1988; Ford, 1994; Dupré, 2013). Изградња високих објеката може допринети урбаним срединама али и негативно утицати на њих стварајући места без идентитета. Савремени градови почињу да личе једни на друге, јер се граде објекти који само настоје да надмаше претходне, док се не размишља о њиховој вези са местом у коме настају.

У наставку рада наведени су примери небодера чији дизајн је произашао из културе, традиционалних облика, веровања и навика становништва. Посебно су занимљиви примери из Азије и Блиског истока који су инспирацију за дизајн нашли у локалној традицији тежећи да повежу високи објекат са културом у којој настају и чије обележје постају. Ови објекти постали су иконишни симболи својих средина који су постали препознатљиви у целом свету.

Идеја за дизајн Петронас кула (Petronas Twin Towers) у Малезији пронађена је у локалној култури. Куле висине 452 метра биле су највише зграде света од 1996. године када су изграђене до 2004. године. Влада Малезије је затражила од архитекте Цезара Пелија (Cesar Pelli) да дизајнира зграде које ће обухватити елементе традиционалне архитектуре. Форма објеката потиче из геометријског облика осмоугаоне звезде карактеристичне за исламску архитектуру. Када се посматрају из даљине куле својом формом подсећају на минарете. Кроз архитектуру кула наглашена је исламска и оријентална употреба симетрије и геометрије што се огледа и у спољашности и унутрашњости објеката. У основама се разликују два преклопљена квадрата од којих је настала осмоугаона форма, чији је сваки други угао заобљен. Облик основе идентичан је на свим спратовима а на врху се сужава. Добијена форма употпуњена је савременом фасадом и технологијом. Куле имају 88 спратова а спојене су мостом на 41. и 42. спрату. Петронас куле су постале симбол културе, традиције и истовремено модерности и развоја државе.

Форма традиционалне пагоде била је инспирација за дизајн неколико небодера у Азији. Пагоде представљају индијске, кинеске, корејске и јапанске обредне грађевине од камена или дрвета. Пагода је висока грађевина налик на торањ (60-125 m), обично кружног облика, која служи будистичком култу и за похрану реликвија. Инспирисани овим традиционалним грађевинама група архитеката Skidmore, Owings & Merrill (SOM)

пројектовала је небодер Jin Mao Tower у Шангају. Циљ је био да се створи модерна форма која подсећа на културу и идентитет Кине. У форми објекта јасно се разликују сегменти попут оних на пагодама од којих је сваки мало шири од наредног. Објекат је висок 421 метар и има 88 спратова. У кинеској култури број 8 има посебно значење због чега се разликује 8 сегмената на објекту, од којих је сваки за једну осмину нижи од претходног. Због ових карактеристика небодер је прихваћен од стране својих становника, и представља један од иконичних објеката Шангаја чију историју и традицију осликава.

Финансијски центар Тајпеј 101 изграђен 2004.године на Тајвану био је највиша зграда света до 2010.године. Небодер висине 509 метара дизајнирао је архитекта С. Ј. Лее по узору на традиционалну пагоду, као у претходном примеру. У форми објекта разликује се 8 сегмената по висини симболизујући добру срећу који овај број доноси према веровању локалног становништва. Сваки сегмент састоји се од 8 спратова а прелаз између два сегмента је наглашен најширим спратовима. Поред симболизма у броју 8 овај небодер подсећа и на стабљику локалне биљке јер наглашени прелаз између два сегмента подсећају на чворове бамбуса. У локалној култури бамбус и његов раст који се огледа кроз чворове на стабљници симболизује напредак. На исти начин небодер Тајпеј 101 расте ка небу сваким сегментом и симболизује прогрес. Висина објекта је знатно виша од околине, због чега он представља доминанту структуру у граду. Због изражене висине и везе са традицијом и културом овај објекат представља иконичну архитектуру Тајвана.

Један од најбољих примера данашњице у коме се јасно препознаје тежња за стварањем иконичне архитектуре је град Дубаи. Као град који расте и развија се невероватном брзином од пустиње до једне од највећих метропола света, Дубаи покушава да брзом и препознатљивом изградњом постигне ефекат снажног града какав су други светски градови стцали вековима. Иако није највиши објекат у Дубаију Burj Al Arab је сигурно најближи ономе што се може назвати иконичном архитектуром. Објекат је изграђен 1999.године као први хотел на свету са седам звездица. Пројектант је Том Рајт који наводи да је од њега тражено да створи симбол града значајног попут Кипа слободе у Њујорку. Настала форма је врло препознатљива и посматраче најчешће одмах асоцира на једра. Од изградње овог објекта почео је развој града као значајне туристичке дестинације.

Високи објекти се могу посматрати као иконичне структуре које као доминанти симболи треба да наглашавају локални идентитет и културу (Domosh, 1988). Њих не треба посматрати само кроз форму и примењене технологије, већ као симболичке елементе у изграђеној средини.

2.3 АНАЛИЗА ИЗГРАДЊЕ У ЕВРОПИ ТОКОМ 20. И 21. ВЕКА

Анализом литературе се уочава да се истраживање високих објеката у Европи најчешће своди на појединачне форме, док свеобухватнијих студија ове типологије и њених специфичности у односу на друге континенте нема. Анализа појединачних пројеката је у већини случајева фокусирана на изузетно високе објекте или оне код којих су примењене специфичне технологије градње. Свеобухватно истраживање тренда њихове изградње у Европи, узимајући у обзир и садашње време, није заступљено у литератури.

У односу на Америку где је изградња високих објеката већ од почетка 20. века била широко заступљена, они се на европском континенту граде у већем броју тек од 1950-их година. Прихватање ове типологије у Европи је трајало дуже првенствено због страха да би ове висински доминантне форме могле да угрозе богато историјско градитељско наслеђе. С тога су они дочекани са одређеном дозом скептицизма (Hollister, 2013). Високи објекти у Европи су прилагођени специфичним историјским и урбанистичким карактеристикама градова, што је ограничило њихову висину, као и број изграђених објеката (Asendorf, 2005)

За разлику од високих објеката у Америци, које је пратила униформност архитектонског израза, код европских небодера приметна је већа разноликост у формама и фасади објеката. Како су бројни европски градови до тада били препознатљиви по свом историјском наслеђу, постојала је тежња да се високи објекти прилагоде окружењу (Eisele & Kloft, 2003). Убрзани развој градова је након Другог светског рата довео до потребе за обнављањем оштећених зграда и потражњом за већим бројем стамбених и пословних простора (Eisele & Kloft, 2003). У градовим чије је историјско наслеђе у већој мери уништено, паралелно са санацијом историјских језгара почела је и изградња нових високих објеката (Hollister, 2013). У том тренутку се истиче њихов симболички значај, који се огледао у показивању њихове послератне обнове и економског развоја земаља.

У циљу историјског прегледа и разумевања тренда изградње високих објеката у Европи извршена је нумеричка анализа на основу података доступних у бази организације *Council of Tall Buildings and Urban Habitat*. У односу на предмет истраживања докторске дисертације, анализа обухвата објекте више од 50 метара. У првом кораку је анализиран број високих објеката у односу на временски период изградње за појединачне земље Европе. Затим су на основу збирних резултата изведени закључци за цео европски континент. Поред периода изградње анализирана је и намена објеката, као и њихова максимална остварена висина. Представљене анализе се фокусирају на период од 1971. до 2023. године, узимајући у обзир и објекте који су тренутно у изградњи и чија је реализација планирана до 2025. године.¹⁶

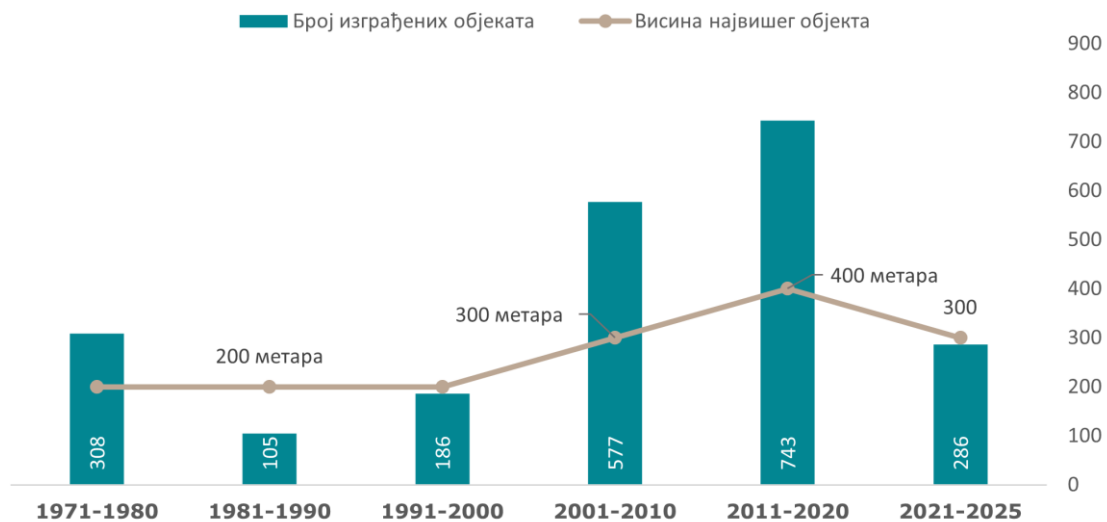
У анализи су објекти према висини разврстани у 5 група: објекте ниже од 100 метара, објекте висине 100-150 метара, затим 150-200 метара, 200-300 метара, 300-400 метара и објекте више од 400 метара.

¹⁶ Детаљни табеларни приказ броја високих објеката у односу на висину и период изградње за појединачне земље Европе налази се у Прилогу 1 докторске дисертације.

У односу на период изградње, анализа је извршена за сваку деценију почевши од 1970.-их година, када се бележи нагли раст броја изграђених високих објеката у Европи. Тако су током анализе високи објекти разврстани према 6 временских периода изградње: од 1971. до 1980. године, затим 1981. -1990. године, 1991. -2000. године, 2001. -2010. године, 2011. -2020. године, док последња група обухвата период од 5 година, од 2021. до 2025.године.

Анализом је обухваћено укупно 2205 објеката изграђених током претходних 50 година у 42 земље Европе.

Анализа изградње високих објеката на основу нумеричких података показује да је у периоду од 1971. до 1980. године изграђено више од 300 високих објеката, чија је максимална висина била 200 метара (Слика 2). У том периоду је највећи број високих објеката изграђен у Француској, Немачкој и Уједињеном краљевству. У наредној деценији приметан је нагли пад броја изграђених високих објеката у Европи у свим земљама. До 2000. године је затим изграђено више објеката, када се примећује значајан пораст објеката изграђених у Италији и Холандији.



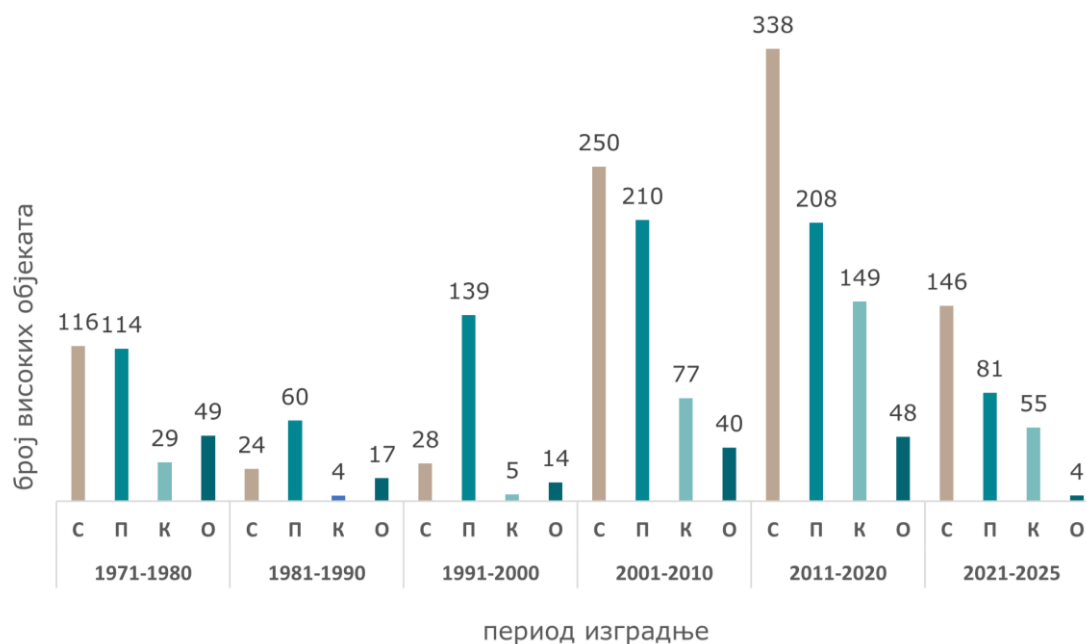
Слика 2. Број високих објеката у Европи према периоду изградње и оствареној максималној висини (Аутор)

Током периода од 2001. до 2010. године бележи се изградња три пута више објеката него у претходној деценији. Тада је порастао број изграђених објеката у Аустрији и Шпанији, и нарочито у европском делу Русије. У том периоду се висина изграђених објеката прелази 300 метара. Од 2010. до 2020. године је изграђен рекордан број високих објеката, преко 700 (Слика 2). Тада се у скоро свим земљама примећује нагли тренд изградње високих објеката, што се највише примећује у уједињеном Краљевству где је током ове деценије изграђено преко 150 објеката. У истом периоду је у Русији изграђено 159 објеката, од којих је један прешао висину од 400 метара. Током последњих година изграђено је око 200 високих објеката и чини се да у овој деценији неће бити надмашен број изграђених објеката током претходне.

Посматрајући висину изграђених објеката, у Европи се граде објекти који су у просеку знатно нижи него они на америчком и азијском континенту. У Европи тек након

1950.-их година почиње изградња објеката виших од 100 метара. Анализа података показује да се у Европи данас и даље углавном граде објекти висине до 250 метара. Европа је специфична и по томе што изградња високих објеката није била подједнако заступљена у свим земљама. У периоду до 2010. године они су били изграђени у око 30 земаља, док данас постоје у свим земљама Европе.¹⁷ Бројни градови у Европи имају посебна истраживања и смернице за изградњу високих објеката, која дају препоруке и предлоге за планирање, као и предложене зоне за позиционирање високих објеката у граду.

Други део нумеричке анализе односи се на функционалну намену објеката у односу на коју се високих објекти сврставају у 4 групе: стамбене, пословне, комбиноване намене од којих је једна функција пословна, док су објекти других намена сврстани у групу осталих. Са становишта намене објеката у периоду до 1980. године грађен је једнак број објеката пословне и стамбене намене. У наредне две деценије се примећује изградња већег броја објеката пословне намене (Слика 3). Међутим након 2000. године долази до наглог пораста изградње објеката стамбене намене и овај тренд се наставља и у наредној деценији. Изградња већег броја стамбених објеката се примећује у Пољској, Шведској, норвешкој и Русији током овог периода. Од 2001. године је приметан раст објеката комбиноване односно мешовите намене, али је њихов број у односу на стамбене и пословне објекте знатно мањи.



Слика 3. Број високих објеката у односу на период изградње и намену (Аутор)

Међутим када посматрамо висину објеката у односу на намену, пословни објекти се истичу већом висином у односу на стамбене. У висинама објеката између 100 метара и 150 метара доминирају стамбене куле, док се пословни објекти реализују у распону

¹⁷ Анализа тренда изградње високих објеката у земљама Европе у односу на период изградње и висину приказана је у Прилогу 1.

између 150 метара и 250 метара. Објекти виши од 250 метара су углавном комбиноване намене.

Систематизацијом сазнања на основу спроведене анализе тренда изградње високих објеката у Европи, се закључује да је током претходних 15 година дошло до наглог пораста њиховог броја у свим земљама Европе, што је приметно и у Србији.

2.4 ВИСОКИ ОБЈЕКТИ У БЕОГРАДУ

2.4.1 Преглед изградње високих објеката у Београду

Иако је први високи објекат у Београду изграђен још 1939. године, реализација већег броја сличних објеката започиње у периоду након Другог светског рата. Потреба за већим бројем стамбених објеката довела је до брзе градње солитера у новоформираним насељима по ободу града, а нарочито на новом Београду. Поред тога, у градском језгру грађени су објекти претежно пословне намене. Управо у овом периоду су изграђени неки од главних урбаних репера и препознатљивих симбола града, попут Западне и источне капије Београда, Београђанке и куле Ушће 1. Након овог периода па све до 2015. године није било изградње значајних високих објеката у Београду, иако су у бројним конкурсним решењима крајем 20. и почетком 21. века предложене изградње кула, до реализације ових пројеката није дошло. Као и у бројним другим земљама Европе, у последњој деценији примећен је нагли раст изградње високих објеката у главном граду Србије. Тако је након скоро 50 година паузе у изградњи високих објеката, реализована Кула Београд која је данас највиши објекат у Београду. Претходних година изграђено је још неколико високих објеката на територији целог града, док је у наредним годинама најављена реализација још већег броја објеката који су тренутно у фази планирања.

2.4.1.1 Стамбени објекти

Након Другог светског рата Србија се суочила са недостатком стамбених објеката што је водило ка проширењу града и формирању нових насеља. Тако су у другој половини 20. века у Београду изграђена бројна стамбена насеља као што су Нови Београд, Карабурма, Бањица, Канарево брдо, Медаковић, Коњарник, Браће Јерковић и Железник. Наведена насеља обухватају групације објеката различитих габарита и спратности, те свако од њих карактерише и постојање стамбених солитера који се својом висином значајно истичу у односу на ниже зграде у околини.

Почетком 70.-их година 20. века примећено је нагло опадање изградње стамбених зграда средње спратности и пораст изградње објеката високе спратности која досеже и до 30 етажа. Иако је већ тада закључено да рационалност изградње високих објеката са техничког, економског, социолошког, психолошког и здравственог аспекта опада пропорционално са порастом спратности, тенденција за растом града у висину је била све јача (Менделсон, 1976). Према статистичким подацима Урбанистичког завода из 1973. године највише високих стамбених објеката налазило се, у том тренутку, на територији општине Нови Београд где је изграђено 29 објеката спратности до П+21 (Аничин и Мишић, 1977). Затим следе општине Звездара где су изграђена 26 објеката

спратности до П+28, Земун са 24 објекта спратности до П+20 и Чукарица са 22 објекта спратности до П+14. 18

Код високих стамбених објеката приметна је разлика између објеката типа ламеле, код којих је наглашена вертикална и хоризонтална димензија, у односу на објекте типа куле код којих доминира висина објекта. Разиграност форме у обе димензије приметна је у насељу Јулино брдо, где објекти формирају два низа орјентисана према истоку и западу. Форма објеката је разиграна и по хоризонталној и по вертикалној оси а спратност варира од П+3 до П+19. Слично томе Блокове 61, 62 и 63 на Новом Београду одликује низ идентичних зграда, изграђених у периоду од 1971. до 1973. године, које се степенасто спуштају од 20. до 3. спрата. Као и код претходног примера пројекат одликује економичност у коришћењу простора и материјала, као и склоност ка тада све чешћој примени монтажних и префабрикованих елемената конструкције. На територији Новог Београда се истичу стамбене куле у Блоковима 1, 2, 3, 21, 23, 28, 29 и Блоку 30. Солитери у блоку 23, изграђени 1973. године када су представљали „супротност дотадашњим мирним формама својом агресивношћу, истицањем везивних конструктивних материјала и богатом пластиком на фасадама.“¹⁹ Сличне карактеристике имају и солитери на Бањици, изграђени у исто време. Три солитера у улици Војводе Степе изграђена су 1970. године, а карактеристике их кубична форма која је проширена у прва три спрата.

Најпрепознатљивији високи објекти стамбене изграђени су у оквиру комплекса зграда Источне капије Београда који чине три солитера која се налазе у близини аутопута Е75 и својом величином и упадљивошћу представљају симболичку капију на уласку у Београду за путнике који долазе из правца истока. Комплекс је изграђен 1976. године у насељу Коњарник. Зграде имају по 28 спратова, а изграђене су на заједничком платоу на коме се налази дечије игралиште. Са платоа се уздижу три постоља висине по три спрата изнад којих се наставља шест серија од по четири спрата, где је свака серија ужа од претходне. Аутор пројекта је архитекта Вера Ћирковић у сарадњи са инжењером Милутином Јеротијевићем, а стручни надзор је вршио Драгољуб Мићовић који је солитерима дао популаран назив Рудо. Данас у овим објектима живи око 1400 људи.

2.4.1.2 Објекти пословне и комбиноване намене

Највећи број пословних високих објеката је изграђен у периоду од 1965. до 1975. године. У њих се убраја и први високи објекат у Београду - Палата „Албанија“ изграђена 1939. године у центру града.

У Београду је дуго времена највиши објекат била пословна зграда друштвено-политичких организација-ЦК данас познатија као пословни центар Ушће, дело архитекте Михајла Јанковића, чија је изградња завршена 1967. године. Објекат је претрпео велика оштећења током бомбардовања због чега је реконструисан 2005. године када су додата

¹⁸ Подаци су изнети табеларно у чланку „*Колико високо тежи Београд*“ објављеном у часопису Урбанизам Београда, број 38/39 из 1977. године, стр. 44.

¹⁹ Дијана Милашиновић Марић (2002). *Водич кроз модерну архитектуру Београда*. Београд: Друштво архитеката Београда, стр. 148.

два спрата и антена чиме је достигао висину од 141 метар. Конструкција објекта је армирано-бетонски скелетни систем са фасадом типа зид завесе.

У централном градском језгру су у периоду између 1960. и 1980. године изграђени објекти Палата „Инекс“ и Палата „Београд“ на угаоним позицијама стамбених блокова. Палата „Београд“ односно Београђанка је један од репера града, који је изграђен према пројекту архитекте Бранка Пешића и има висину од 101 метар. Конструктивни систем је армирано-бетонски, скелетни, јасно уочљив на фасадама објекта на којима доминира зид завеса од тамног елоксираниог алуминијума. У форми објекта разликују се два дела, нижи који прати висинску регулацију суседних објеката, и виши који се са својих 24 етажe издиже у односу на контекст.

Западна капија Београда Западна капија Београда односно Генекс куле изграђене су 1980. године према пројекту архитекте Михајла Митровића. У габариту објекта разликују се две зграде различите висине повезане на 26. спрату двоетажном пасарелом на чијем врху се налази кружни ресторан. Једна зграда је стамбена а друга пословне намене. Објекат је добио име Западна капија Београда због положаја поред аутопута којим даје добродошлицу путницима који долазе са београдског аеродрома.

Током претходних година у Београду су изграђени објекти Ушће 2 висине око 140 метара, кула Skyline висине око 130 метара, West 65 висине 155 метара, и Кула Београд које је са 168 метара тренутно највиши објекат у граду, од којих је већина комбиноване намене.

2.4.2 Карактеристике високих објеката Београда

Иако сваки објекат представља јединствено архитектонско остварење, с обзиром на релативно мали број високих објеката у Београду, могуће је установити њихове одређене заједничке карактеристике.²⁰ Оне су најчешће последица намене објекта или периода у ком је изграђен. Анализом постојећих високих објеката су уочене њихове следеће заједничке карактеристике:

- **Локација**

Скоро сви објекти се налазе унутар континуално изграђеног ткива града, претежно у централној и средњој зони у оквиру блокова са слободностојећим објектима.

- **Висина**

Висину до 50 метара има највећи број стамбених објеката изграђених након седамдесетих година 20. века а у које спадају објекти типа куле, спратности од 8 до 16 надземних етажа, као и објекти типа ламела дужине неколико стотина метара са 8 до 10 надземних етажа. Висином преко 100 метара су се у силуети града до 2015. године издвајала само три објекта и то Палата "Београд", куле "Генекс" и Пословни центар "Ушће". У периоду од 2015. до 2023. године приметна је изградња знатно виших објеката, од којих се издвајају West 65 и Кула Београд висином преко 150 метара.

²⁰ Карактеристике високих објеката Београда преузете су из чланака „Поглед на Београд са висине“ објављеног 2011. године. С обзиром да чланак не узима у обзир објекте изграђене након тог периода, анализа је допуњена од стране аутора дисертације за објекте изграђене након 2015. године.

- **БРГП**

Већина објеката припада објектима мањег и средњег капацитета ~35.000 m², док групација стамбених високих објеката "Рудо" са ~55.000 m² припада објектима великог капацитета и новоизграђена Кула Београд.

- **Пропорције основе**

Иако утицај високих објеката на околину у највећој мери зависи од њихове висине, значајну улогу има и површина основе, јер се објекти мањег габарита боље уклапају у окружење. Уобичајена површина основе пословних кула је од 800 до 1.200 m². Површина основе стамбених кула је најчешће од 300 до 600 m², уз изузетак кула сложене основе попут куле са "У" основом у Блоку 38 чија површина основе износи око 1.300 m². Највећу површину основа имају објекти типа ламела попут објеката у Блоку 28 ~7000 m², Блоку 23 ~7.800 m² и Блоку 21 ~13.000 m².

- **Намена**

Објекти су најчешће монофункционални и највећи број је намењен становању. Затим следе пословни објекти који се налазе у историјском центру и централној зони Новог Београда. У Београду не постоје високи објекти намењени култури, школству, као ни сложени вишенаменски објекти.

- **Форма**

Објекти висине до 8 спратова, који се налазе у историјском ткиву града, карактерише компактна форма којом су уклопљени у окружење док виши објекти имају разуђену форму која најчешће подразумева два дела: нижи део објекта изграђен је на самој регулацији и има висину као суседни објекти у циљу формирања континуираног уличног фронта, док је виши део објекта типа куле повучен ка унутрашњости блока. Већа слобода при обликовању високих објеката приметна је код слободностojeћих објеката који по правилу имају платое који их окружују и омогућавају стварање независне просторне композиције у односу на остатак градског ткива. Код новоизграђених високи објеката се примећује одступање од типичне кубичне форме објеката кроз присуство закривљених површина.

2.4.2.1 Градске визуре

У силуети града издвајају се изузетно високи објекти или објекти који су изграђени на високим kotaма попут Источне капије Београда. У чланку „Поглед на Београд са висине“ ауторке Ђорђевић-Цигановић и Михаљевић наводе да је изградња високих објеката у централној зони нарушила значајне градске визуре и да „досадашњом изградњом високих објеката и њиховом диспозицијом Београд није добио смислену и јасну композицију у делу свог историјског језгра“.²¹

У случају Београда посебан значај имају визуре које се сагледавају са обала река. Посматрано са обале најбоље се сагледавају високи објекти који су удаљени неколико километара од реке, јер визуелно не угрожавају окружење већ се адекватно препознају као висинске доминанте у густо изграђеном градском ткиву. Објекти који се налазе близу

²¹ Јованка Ђорђевић-Цигановић и Вера Михаљевић. (2011). *Поглед на Београд са висине*. (М. В. Лазар, Ed.) *ИНФО*, 33, 9-51, стр. 13.

обала река нарушавају остатак градске визуре, не само висином већ и габаритом којим заклањају остатак града. Овај проблем посебно је наглашен код групација високих објеката изграђених на самој обали река јер формирају континуирану визуелну баријеру према граду. Проблем угрожавања значајних градских визура са обала река уочљив је данас приликом посматрања старог града са савске обале Новог Београда. Изузетна висина и масивна форма Куле Београд додатно је наглашена њеним позиционирањем сувише близу реке чиме овај објекат у потпуности нарушава једну од најзначајнијих градских визура на историјски део града.

2.4.3 Студија високих објеката

Једини акт у коме се разматра типологија високих објеката у главном граду Србије представљала је Студија високих објеката коју је израдио Урбанистички завод Београда 2011. године. Ова студија је била саставни део Генералног урбанистичког плана Београда 2021 и предвиђала је висинску регулацију и зоне могуће изградње високих објеката, као и препоруке за њихово планирање и пројектовање. Поменута студија је укинута 2014. године ради реализације пројекта Београд на води у оквиру кога је изграђена кула висине 220 метара, након чега се није појавио нови регулациони документ који се бави темом изградње високих објеката у Београду.

Неки од најважнијих закључака студије су да је приликом позиционирања високих објеката у Београду неопходно обратити пажњу на њихов утицај на постојеће историјске целине и градске визуре због чега се не препоручује планирање екстремно високих објеката. Студијом су објекти у зависности од висине подељени у 5 категорија од којих прва обухвата објекте до 26 метара, друга објекте од 26 до 50 метара, трећа умерено високе објекте од 50 до 100 метара, а четврта изузетно високе објекте од 100 до 150 метара. Објекти висине преко 150 метара сврстани су у пету категорију екстремно високих објеката уз напомену да се њихова изградња не препоручује у Београду (Ђорђевић-Цигановић & Михаљевић, 2011). Поред висине објекти су класификовани и по доминантној димензији и волумену на „објекте типа куле код којих је доминантна вертикална димензија, типа ламеле код којих је доминантна хоризонтална димензија, објекте великог габарита без доминантне димензије и објекте сложене структуре.“²²

У првом делу студије су на основу анализираних зона и локација постојећих високих објеката сагледани њихови утицаји на урбано окружење, док су у другом делу приказана искуства других европских градова уз посебан осврт на Даблин и Беч који се по величини могу поредити са Београдом. Крајњи резултат студије су закључци према тематским областима и предлози зона у којима би требало градити високе објекте у Београду. Додатно су и дефинисани критеријуми које локације морају да испуне да би биле одобрене за изградњу високих објеката.

У циљу давања препорука за изградњу нових високих објеката анализирани су постојећи са неколико аспеката: урбанистичког, инжењерско-геолошког, саобраћајног, као и аспекта животне средине (Ђорђевић-Цигановић & Михаљевић, 2011). На основу

²² Јованка Ђорђевић-Цигановић и Вера Михаљевић. (2011). Поглед на Београд са висине. (М. В. Лазар, Ед.) *ИНФО*, 33, 9-51, стр. 9.

анализе изнети су следећи закључци и препоруке у оквиру Студије високих објеката Београда:

- Узимајући у обзир архитектонске карактеристике објеката препоручена је изградња објеката од 50 до 150 метара, док се изградња објеката виших од 150 метара искључује. Препоручени су високи објекти типа кула уз нагласак на неопходност провере величине и облика основе, уз избегавање ламела издужених правоугаоних форми. Укупан препоручени капацитет подземних и надземних етажа би требало да буде до 50.000 m², и у изузетним случајевима до 100.000 m². Неопходно је узети у обзир и непосредно окружење објекта уз препоруку да платои и приземља, као и највише етаже објеката буду јавно доступни.
- Анализа са саобраћајног аспекта указује на значај инфраструктуре приликом позиционирања високих објеката и неопходност обезбеђивања довољно паркинг места на самој локацији као и обезбеђивање пешачке доступности станицама јавног превоза у непосредној околини.
- Са становишта урбанистичког аспекта истиче се да је искључена изградња високих објеката у околини заштићених природних добара и у зонама културно - историјских целина. Изградња високих објеката се не препоручује на правцу заштићених визура уз посебну напомену да је „потребно проверавати потенцијалну изградњу на локацијама које су изложене погледу са мостова на обе обале Саве, а које могу да заклоне београдске симболе.“²³
- Посматрано са инжењерско-геолошког аспекта закључује се да је алувијална раван Новог Београда погодна за изградњу високих објеката као и простори Крњаче, Овче и Борче, уз ограничење изградње највише једне подземне етаже. У осталим деловима Београда које одликује разноврсна геолошка грађа за изградњу високих објеката нису погодни терени у близини активних клизишта, терени алувијалних тераса на левој обали Саве и Дунава, простор Земунског лесног платоа и терени који обухватају долине потока.
- Са аспекта животне средине посебно се истиче утицај високих објеката на струјање ваздуха у непосредном окружењу и правилно позиционирање објеката у односу на правце ветра од којих је на територији Београда најзначајнија кошава.

2.4.3.1 Предложене зоне за изградњу високих објеката

Генералним планом Београда 2021. означена су места на којима је због безбедности забрањена изградња високих објеката као и подручја на којима би ови објекти значајно угрожавали постојеће историјске целине и заштићене визуре града. У оквиру Генералног плана су такође наведене локације на којима је пожељна изградња високих објеката попут Блокова 18 и 26. На основу услова ГП Београда 2021. у Студији високих објеката потврђене су зоне у којима је забрањена изградња а односе се на:

- просторе заштићених културно-историјских целина;

²³ Јованка Ђорђевић-Цигановић и Вера Михаљевић. (2011). Поглед на Београд са висине. (М. В. Лазар, Ед.) *ИНФО*, 33, 9-51, стр. 16.

- подручје дунавског и савског приобаља око Великог ратног острва и низводно од моста Газела, због визура на урбано језгро Београда и Београдску тврђаву;
- делове центра града због заштите културно- историјског наслеђа и ограничене саобраћајне приступачности;
- просторе Земунског и Новобеоградског лесног одсека;
- просторе заштићених зелених површина;
- београдско водоизвориште, активна и нестабилна клизишта;
- подручја на рубовима града где превладавају објекти ниске спратности намењени индивидуалном становању.

У оквиру Студије високих објеката Београда предложене су 4 зоне за изградњу објеката висине од 26 до 150 метара. Дефинисани критеријуми за утврђивање потенцијалних зона изградње узимају у обзир унапређење идентитета града, очување визура, усклађеност са релевантним прописима, саобраћајна приступачност, потенцијал формирања нових јавних простора и транспарентност у процесу одлучивања. На основу наведених критеријума и анализе карактеристика потенцијалних локација дефинисане су зоне А, Б, В и Г за које је појединачно препоручена типологија и максимална висина објеката:

- **Зона А - висина објеката до 26 метара**

Обухвата југоисточне и јужне делове града у којима је могуће планирати појединачне високе објекте чија висина не сме бити 1.5 пута виша од постојећих објеката у окружењу нити виши од 26 метара.

- **Зона Б - висина објеката до 50 метара**

Обухвата већи део Новог Београда и линијске потезе дуж већих градских саобраћајница у старом делу града, а посебно места њиховог укрштања. Препоручена је изградња појединачних објеката на преосталим неизграђеним локацијама, уз услов да не буду виши од 1.5 висине постојећих објеката у окружењу.

- **Зона В - висина објеката до 100 метара**

Обухвата низ слободних локација на Новом Београду, без ограничења у односу на историјско језгро града и заштићене визууре. Локације у оквиру зоне В формиране су као линијске осе уз коридор железничке пруге, између Булеvara Милутина Миланковића и трасе УМП-а, од лесног одсека до Савског амфитеатра, као и просторе уз аутопут.

- **Зона Г - висина објеката до 150 метара**

Подразумева само локацију у околини Блока 42 на Новом Београду, тачније простор између УМП-а и Улице Милутина Миланковића. Истиче се могућност планирања групације објеката због добре саобраћајне приступачности и пожељност акцентовања локације која лежи на линеарној оси од Дунава до Саве.

Преглед предложених зона за изградњу, указује на чињеницу да се приликом позиционирања већине високих објеката који су изграђени током претходних година У Београду, у обзир нису узимале препоруке дате у студији.

2.5 УТИЦАЈИ НА РАЗВОЈ ФАСАДНИХ ОМОТАЧА ВИСОКИХ ОБЈЕКТА

2.5.1 Развој фасадних омотача високих објеката

Претходно сагледавање историјског развоја високих објеката је указало да су бројне технолошке иновације утицале на промене њихових фасадних омотача. На основу изгледа фасадног омотача одређеног високог објекта, често се може закључити у ком периоду је он изграђен.

У члану *Dynamic Interaction between Technology and Architectural Aesthetics in Tall Buildings* аутора Кјонг Сун Муна (Kyoung Sun Moon) указује на везу између технологије и изгледа високих објеката.²⁴ Након анализе технолошких иновација и њиховог утицаја на промене у фасадним омотачима високих објеката, аутор закључује да сваку епоху одликује одређени изглед високих објеката који је најчешће одраз технолошких достигнућа тог времена (Moon, 2013).

Прве високе објекте, изграђене у Чикагу крајем 19. века, карактерише компактна форма и нижа спратност. Првобитни високи објекти грађени су масивним конструктивним системом, и нису се значајно разликовали од дотадашњих објеката ниже спратности. Њихове фасаде су подразумевале мале прозорске отворе који нису омогућавали задовољавајући ниво осветљености, али су имали мале топлотне губитке.

У тренутку када су остварене иновације у конструктивним системима и употреби челика, долази до значајне промене изгледа високих објеката. Примена скелетног конструктивног система је омогућила остваривање веће висине објеката. Значајан развој ових технологија у периоду када је архитектура тежила стварању модерних, елегантних и једноставних објеката условила је то да су високи објекти постали типологија на којој су се најпре појавили нови стаклени фасадни омотачи (Moon, 2013) У ранијим периодима инжењери су били ограничени масивним спољним зидовима који су имали конструктивну улогу док је увођење челичне скелетне конструкције унело велике промене у конструкцији фасада.

Употреба челика је утицала на изградњу објеката са стакленом фасадом који су се транспарентношћу истицали у односу на претходно грађене објекте. Истовремено напредак у развоју стакла и стаклених фасада омогућио је појаву већих застакљених површина. Тада се граде објекти који се карактеришу као стаклени кубуси, односно правоугаоне форме са великим стакленим површинама, што је било карактеристично за објекте грађене током 60-их и 70-их година двадесетог века. Почетком 20. века технологија је омогућила изградњу још виших објеката што је довело до веће површине фасадних омотача, чиме су објекти губили више енергије. У другој половини 20. века повећава се коришћење механичких система за вентилацију чиме је укупна потрошња енергије у високим објектима повећана.

Зид завеса је фасадни омотач чија се појава директно везује за вишеспратне објекте. На великим површинама фасада ових објеката су у пуном сјају исказане могућности великих застакљених површина (Oldfield, Trabucco, & Wood, 2009). Елегантне форме су

²⁴ Kyoung Sun Moon. (2013). *Dynamic Interaction between Technology and Architectural Aesthetics in Tall Buildings*. *Journal of Urban Technology*, 20(2), 3-24.

одувек привлачиле не само архитекте већ и власнике оваквих објеката јер су они изражавали одређену врсту дивљења код свих.

Изградња високих објеката је нарочито заживела 60-их година када су они били идеална начин да се на скупим парцелама изгради што већи проценат корисне површине за изнајмљивање великим корпорацијама. Равни стаклени панели и алуминијум у то време није имало вису имали високу цену што је допринело широкој примени фасадног омотача типа зид-завесе.

Међутим, од самог почетка су квалитет и перформансе овог фасадног омотача били проблематични, технологија је била нова и још увек непозната односно недовољно тестирана (Wigginton, 1996). Ови омотачи су такође имали лоше акустичне перформансе. Зид завесе су имале проблем који се односи на сливање/ продор воде и инфилтрацију ваздуха. Највећи проблем ипак представљају лоше термичке перформансе које доводе до стварања кондензације, а лош пренос топлоте условљава низак ниво унутрашњег комфора. У међувремену је технологија зид завеса знатно напредовала током последњих година. То укључује унапређене процес производње и уградње, као и боље перформансе фасадних система.

Период постмодернизма покушао је да се супротстави тренду изградње стаклених кубуса, што се види у покушајима да се зид завесе сакрију иза фасада које подсећају на традиционалне. Решетки скелетни систем и развој дуплих фасада донео је нове естетске карактеристике које се огледају у фасадама које подсећају на мреже.

Данас се граде објекти који су знатно напредовали у односу на првобитне стаклено - челичне небодере карактеристичне за Северну Америку, и својом формом, конструкцијом, материјализацијом и енергетски ефикасним системима константно померају границе архитектонске дисциплине. Граде се високи објекти комплексних, закривљених форми насталих као последица употребе дигиталних технологија и компјутерских програма (Moon, 2013).

Иако су стаклене фасаде у претходном периоду повезиване са одређеним архитектонским изразом данас се оне истичу као једне од енергетски најповољнијих као и са становишта унутрашњег комфора и везе коју омогућавају између корисника и спољног простора. Технолошки напреди у самим системима застакљења довели су до тога да се стаклени омотачи постижу све боље перформансе што се тиче прегревања, бљештања (одсјаја), термичких карактеристика и у пружању приватности или транспарентности корисника без угрожавања квалитета светлости (Wigginton, 1996). Зид завеса се данас не посматра само као стаклени омотач који раздваја унутрашњи и спољни простор, већ као саставни део објеката који постижу високе енергетске перформансе и омогућавају угодност својим корисницима.

Актуелна примена концепта одрживости у пројектовању фасада високих објеката је довела до значајне промене њихових естетских карактеристика. Тренд који је посебно актуелан у савременој архитектонској пракси су фасадни омотачи који користе системе за повећање контроле коришћења сунчевог зрачења у циљу повећања термичког комфора и оптимизацију потрошње енергије за процесе грејања и хлађења (Navaei, 2015). У захтевнијим климатским условима изводе се адаптивне фасаде које се прилагођавају

променама у спољашњој средини, а у оквиру њих се инсталирају системи који доприносе снабдевању одрживом енергијом.

2.5.2 Концепт одрживости и утицај високих објеката на животну средину

Током последњих деценија климатске промене и повећана свест о еколошким проблемима условљавају промене у савременој архитектури. Савремена архитектонска пракса се у контексту глобалних промена суочава са новим захтевима у погледу креирања решења у складу са актуелним трендом ублажавањем ефеката климатских промена. Џенкс у књизи *Нова парадигма у архитектури* објашњава да је дошло је до промене парадигме у архитектури услед климатских промена. Појавили су се иновативни концепти објеката пројектованих по принципу одрживог дизајна. Одрживи дизајн се може дефинисати као пројектовање чији је циљ да створи архитектуру кроз ефикасну употребу материјала, енергије и у што већој мери смањи негативан утицај на животну средину. Данас се често користе термини одрживи, еколошки и зелени да објасне архитектуру која се пројектује у складу са животном средином (Steele, 2005). Термин одрживости се најчешће повезује са еколошким идентитетом, животном средином и зеленом архитектуром, али овај концепт се односи на цело одрживо друштво (Brown, 2016).

Одрживост је постала неизбежна тема и у изградњи високих објеката, а еколошки аспекти ових објеката се најчешће везују за то да је то идеална форма која ће моћи да задовољи све већу популацију градова, и како је ово боља опција од изградње по хоризонтали.²⁵ Норман Фостер, који је пројектовао неколико одрживих високих објеката, сматра да када су градови организовани хоризонтално потребна је развијена саобраћајна комуникација, док вертикална организација омогућава различите садржаје на истом месту што умањује потребу за свакодневним транспортом људи и допринело смањило емисију штетних гасова. Тежња за организацијом по вертикали је логична у тренутку када је све мање слободног земљишта у пренасељеним градовима.

Са друге стране влада предрасуда да високи објекти ни на који начин не могу допринети квалитету животне средине (Soares Gonçalves, 2010). Са аспекта животне средине код високих објеката најважнија су истраживања могућности смањења емисије угљен-диоксида у фази производње материјала и конструктивних елемената као и њихове изградње. Велика количина енергије и материјала који су потребни за њихову изградњу не може надоместити њихову предност која се огледа у заузимању мале површине земљишта. Међутим истраживања архитекта и инжењера последњих година све више настоје остваривању одрживог дизајна високих објеката (Elnimeiri & Gupta, 2008). Тренутна истраживања високих објеката са аспекта одрживости се фокусирају на енергетску ефикасност, од форме објекта, променљивих фасада преко система за грејање и хлађење, топлотних пумпи и ветрењача (Rafiei & Adeli, 2016). Пројектују се објекти који укључују најсавременије системе енергетске ефикасности и зелене површине на

²⁵ О пројектима одрживих високих објеката погледати чланке у часописима *The Structural Design of Tall and Special Buildings* и *CTBUH Journal* – званични часопис међународне организације Council on Tall Buildings and Urban Habitat.

великим висинама уз покушаје да се покаже да је могуће да оволико високи објекти буду хумани за кориснике подједнако као и ниско-етажни објекти.

Водећа личност у пројектовању одрживих високих објеката је Кен Јанг (Ken Yeang), који сматра да задатак је еколошке архитектура не само да минимализује негативне утицаје на животну средину, него и повећа корисне интеракције између изграђених система и природних екосистема. Јанг истиче да је потребно постојање теорије еколошког пројектовања која ће успоставити основне критеријуме одрживог пројектовања и начине на који су они повезани (Јанг, 2014). Теоријска основа еколошког пројектовања треба да омогући пројектанту да уз помоћ скупа организованих начела до краја изнесе своје циљеве тако што ће на основу ње одлучити који параметри су потребни за одређени пројекат и шта треба да дода у зависности од специфичних услова локације, јер на све пројекте утиче коришћење необновљивих ресурса, али се не може занемарити локални екосистем. Јанг сматра да се свет никада неће одрећи левијатанских грађевина због чега он пројектује биоклиматски облакодер који представља зелену кулу потпуно усклађену са местом на ком је изграђена.

Јанг је у књигама *The Skyscraper Bioclimatically Considered* и *The Green Skyscraper: The Basis for Designing Sustainable Intensive Buildings* објаснио принципе пројектовања одрживих високих објеката где покушава да прво теоријски а затим и практично израчуна импликације ових високих масовно произведених грађевина на животну средину (Yeang K. , 1996; Yeang K. , 1999). Он објашњава зашто је одабрао облакодер, који сигурно није први објекат који нам пада на памет када се помене одрживост, али је Јанг је изабрао ову типологију јер сматра да је ово објекат који се највише гради с обзиром на убрзану урбанизацију. Пројектовање ових објеката је значајно јер њихова величина, габарит и потрошња енергије и материјала највише утичу на животну средину, и на примеру високих објеката Јанг излаже сопствену теорију о вези између архитектуре и екологије. Он сматра да је кључно пројектовати објекат у односу на локалну климу, јер се узимањем у обзир климатских карактеристика одређеног места може изградити објекат који је у складу са својом околином и пружа бољи психолошки комфор корисницима.²⁶

Пројекте Јанга одликују аналитичке методе енергетске ефикасности, употреба различитих системима пасивног и активног дизајна, у комбинацији са организацијом сложених програма који се одвијају у високим објектима (Abel, 2000). Системи пасивног дизајна укључују избор локације, оријентацију, форму, природно осветљење и заштиту од сунца, пројектовање дуплих фасада, атријума, зелених кровова као и одабир материјала. Системи активног дизајна подразумевају механичке системе који се тичу уштеде енергије за грејање и хлађење употребом система за прикупљање соларне и геотермалне енергије као и рециклажу воде.

Пројектовање у складу са одређеним местом и његовим карактеристикама се подразумева у концепту одрживог планирања објеката, што је потпуној супротности са универзалним пројектима високих објеката модернизма (Abel, 2000). Природни фактори који утичу на планирање високих објеката су ваздушна струјања и промене у брзини ветра. Током планирања високог објекта неопходно је обезбедити повољне услове

²⁶ Ken Yeang. (1996). *The Skyscraper Bioclimatically Considered*. London: John Wiley & Sons, стр. 15.

инсолације, нарочито у зимском периоду. Главни критеријум за одређивање међусобне удаљености високих објеката од других је бацање сенке на објекте ниже спратности.

У циљу избегавања негативних утицаја на друге објекте са овог аспекта, високи објекти се у градским блоковима често постављају на северној страни. Генерално се препоручује изградња високих објеката у отвореним блоковима него у густо изграђеном градском ткиву. Физичка форма високих зграда има значајан ефекат на непосредну околину јер доводи до значајних промена у струјању ветра. Негативни утицај ветра се може се ублажити формом објекта и његовом оријентацијом.

Фасадни омотачи су један од система на који су концепт одрживог дизајна имао највећи утицај. Константно повећање стандарда енергетске ефикасности условило је развој бројних нових врста фасадних омотача са додатном оптимизованим термичким перформансама, у циљу смањења потрошње оперативне енергије у високим објектима (Wood, 2007).

2.5.3 Потрошња енергије у високим објектима

Фасадни омотач зграде је, као посредник између спољашњих климатских услова и унутрашњих услова комфора, константно подвргнут променљивим факторима као што су топлота, ултраљубичасто зрачење, влага, звук и сила ветра (Herzog, Krippner, & Lang, 2012). Без обзира на ту променљивост спољашњих услова у различитим годишњим добима, његов задатак је да увек очува енергију и обезбеди испуњавање непроменљивих услова термалног и визуелног комфора корисника (Knaack, Klein, Bilow, & Auer, 2007).

Студија спроведена на 86 пословних високих објеката на Менхетну је показала да су објекти који су изграђени током 1960-их трошили два до три пута више енергије од објеката изграђених током 1950-их година (Oldfield, Trabucco, & Wood, 2009). Фасадни омотач који је доминирао у овом периоду биле су стаклене зид завесе, које су у раној фази развоја имале лоше перформансе због карактеристика самог стакла, али су коришћене због високог степена транспарентности. У наредним деценијама се развијају значајна технолошка унапређења стакла и фасадних система зид завеса што је утицало на смањење енергетских губитака и повећање енергетског биланса објекта.

У истраживању *Five energy generations of tall buildings: an historical analysis of energy consumption in high-rise buildings* сагледан је низ историјских фактора који су утицали на потрошњу енергије у високим објектима на основу чега је дефинисано 5 генерација високих објеката (Oldfield, Trabucco, & Wood, 2009).

У оквиру наведених генерација се поред карактеристика архитектуре може уочити и развој зид завеса високих објеката као и њихов утицај на перформансе објекта.²⁷ Дефинисане генерације високих објеката:

- Прва генерација подразумева објекте који су грађени од настанка концепта високих објеката од 1885. године у Чикагу до 1916. године. За ову генерацију карактеристична је компактна форма, где су основе биле већег габарита а висина објеката нижа. Површина фасадног омотача је била мања што је омогућавало

²⁷ Philip Oldfield, Dario Trabucco и Antony Wood. (2009). Five energy generations of tall buildings: an historical analysis of energy consumption in high-rise buildings. *The Journal of Architecture*, 14(5), 519-613.

минимално губљење топлотне енергије кроз фасадне зидове. Проблем ових омотача је тај што масивни зидови са малим отворима нису омогућавали задовољавајући ниво осветљености унутрашњег простора.

- Друга генерација обухвата објекте који су изграђени у периоду од 1916. године (када је у Њујорку уведен Закон о зонирању) до 1951. године. Промена у регулацији је довела до тога да су спратови повлачени у односу на границе парцеле, због чега су објекти добијали већу висину. Самим тим је дошло до повећања површине фасадних омотача, што је узроковало већи губитак енергије. Површине прозора су повећане, тако да су са овог аспекта ови објекти имали одличне карактеристике у погледу дневног осветљаја.
- Трећа генерација обухвата објекте који су грађени у периоду од 1951. године до 1973. године. Ово је период у коме се појављује фасадни омотач типа зид-завесе који у потпуности мења изглед фасада високих објеката. У раним фазама свог развоја овај омотач је био потпуно неоптимизован са становишта губитка енергије. Студија спроведена на 86 пословних високих објеката на Менхетну је показала да су објекти који су изграђени током 1960-их трошили два до три пута више енергије од објеката изграђених током 1950-их година. У овом периоду се такође повећава употреба механичких система вентилације и флуоресцентног осветљења чиме је укупна потрошња енергије у објектима повећана.
- Четврта генерација обухвата објекте грађене од 1973. године када је наступила прва енергетска криза. Зид завеса је у раној фази развоја имала је лоше перформансе због карактеристика самог стакла, али је била коришћена због тога јер је омогућавала висок степен транспарентности. За овај период карактеристично је технолошко унапређење стакла и фасадних система зид завесе које је значајно утицало на смањење енергетских губитака. Након овога развија се концепт дуплих фасада или зид завеса са вишеслојним стаклом бољих перформанси.
- Пета генерација обухвата објекте грађене од 1997. године до данас. Ово су објекти који су грађени који са свесношћу о одрживом развоју и минималним губицима енергије. Перформансе фасадног омотача високих објеката су током последњих година знатно побољшане. Користе се разни системи који се интегришу у фасадне омотаче који омогућавају вентилацију или засенчење, а чак се и могу адаптирати у зависности од климатских услова и делова дана. Такође, повећава се могућност прикупљања енергије од стране самог фасадног омотача објекта кроз уградњу соларних ћелија.

2.5.4 Уграђена и оперативна енергија високих објеката

Фасадни омотач има кључну улогу у смањењу потрошње оперативне енергије, јер се највећи део пролаза топлоте и светлости одвија кроз њега. Док се непрозирне површине пројектују у односу на очување енергије, пожарну безбедност и обезбеђивање приватности, транспарентне површине се пројектују у складу са захтевима дневног осветљења, вентилације и визуелног комфора (Herzog, Krippner, & Lang, 2012; Straube & Burnett, 2005). Транспарентне површине не могу да остваре високе термичке перформансе попут нетранспарентних делова фасадног омотача, због чега су тренутни

системи застакљивања увек предмет истраживања и иновација како би се оптимизовала њихова ниска топлотна изолација, соларни добици, ниска отпорност на удар и високи почетни трошкови (Klein, 2013).

У складу са актуелним тежњама за пројектовањем зграда нулте потрошње, очекује се да ће у скоријој будућности уграђена енергија везана за производњу грађевинских производа бити та чији ће негативни утицај на животну средину бити већи у односу на оперативну енергију која се троши током фазе коришћења објекта (Arup, 2022). Највећи удео уграђене енергије једног објекта везан је за изградњу темеља и примарне конструкције, док се одмах на другом месту налазе фасадни омотачи који чине до 30% уграђене енергије целог објекта (Clark, 2012). Међутим, за разлику од конструктивних елемената, компоненте унутар фасадних система обично имају краћи век трајања што захтева више одржавања и поправке, што резултира релативно већом количином потрошње енергије и емисије CO₂ током целог животног века зграде (Cole & Kernan, 1996).

Стаклене фасаде су и даље најчешћи избор архитеката при пројектовању високих објеката али кроз велике застакљене површине губи се до 50% укупне енергије. Како би се постигла уштеда енергије и смањила емисија угљен-диоксида стаклене фасаде се константно унапређују циљу постизања бољег термичког и визуелног комфора. Међутим оптимизација елемената у фасада која се врши у циљу оптимизације оперативне енергије често води до повећања уграђене енергије фасадног система.²⁸

У већини истраживања у којима се настоји смањењу емисије угљен-диоксида код високих објеката фокус је на конструктивном систему односно материјалима који га чине (Bachmann & Weidner, 2021; Trabucco, Wood, Pora, Vassart, & Davies, 2015). Мањи број истраживања се бави фасадним омотачима (Giordano, Giovanardi, Guglielmo, & Micono, 2017; Drew & Quintanilla, 2017). Комплексност фасадног омотача и високи стандарди које мора да испуни отежавају оптимизацију количине материјала од којих се састоји и са њима повезаном потрошњом ресурса и енергије (Berger, Prasser, & Reinke, 2013).

Истраживања су доказала да како расте висина објекта тако расте и потрошња енергије у њему (Godoy-Shimizu, et al., 2018). Тачније, потрошња енергије на вишим спратовима објекта је виша у односу на ниже. Претпоставка је да највећи утицај на то има изложеност виших спратова већој количини директног сунчевог зрачења

На основу претходне анализе литературе која се бави истраживањима фасадних омотача високих објеката закључено је да они у великој мери зависе од развоја технологије у одређеном временском периоду. Поред тога на основу развоја фасадних омотача директно је и да је потрошња енергије у употребној фази знатно варирала у односу на спратност објекта и развој система унутрашње вентилације.

²⁸ Arup. (2022). Carbon Footprint of Facades: Significance of Glass, стр 4.

2.5.5 Савремени фасадни системи

Доминантни фасадни систем који се данас употребљава на високим објектима су елемент зид завесе. Оне подразумевају поделу фасадног омотача на елементе који се склапају у фабрикама након чега се уграђују на објекат, што је значајна погодност за инсталацију фасадних система на великим висинама. Фасадни елементи се као готови панели монтирају на лицу места и могу имати различите облике у зависности од геометрије самог објекта или жељеног естетског ефекта самог фасадног омотача.

Зид завеса подразумева фасаду која нема носећу улогу и чине је лаки елементи што је један од кључних фактора њене употребе на високим објектима. Стога су носећи елементи у оквиру савремених зид завесе најчешће од алуминијума, који поред своје тежине има и предности кроз различите могућности обраде и боје. Основни алуминијумски профили се изводе тако да буду скривени иза стаклених површина или се додатно наглашавају различитим декоративним елементима.

У погледу основних система уочава се подједнака присутност једноструких и двоструких зид завеса односно дуплих фасада. Код једноструке фасаде зграда има један фасадни омотач док дупле фасаде имају један додатни омотач који омогућава струјање ваздуха у оквиру самог фасадног система. Дупла фасада се најчешће изводи на високим објектима који се налазе у изузетно хладним климама јер се ваздух додатно загрева у међупростору између два слоја фасаде (Moon, 2013). Такође карактеристична је и за подручја где владају високе температуре јер у комбинацији са елементима засенчења знатно редукује директно сунчево зрачење.

Савремени фасадни омотачи типа зид завеса су познати по својим квалитетима који се односе на естетику и обезбеђивање природног осветљења због чега су данас чест избор архитеката, нарочито у објектима пословне намене. Из тог разлога су зид завесе већ деценијама предмет истраживања бројних научних радова који настоје да унапреде ове комплексне фасаде са аспекта издржљивости и енергетске ефикасности, а нарочито продужетка животног века (Memari, 2013).

Посматрајући објекте који се актуелно граде може се закључити да су тренутно у архитектонској пракси присутна два концепта у пројектовању фасадних омотача:

- Потпуно застакљене фасаде које не подразумевају визуелну разлику између транспарентних и нетранспарентних поља.

Код ње се најчешће примењују системи структуралне зид завесе која доприноси стварању јединственог волумена. Код овог система су сви елементи скривени иза визуелно доминантног стакла због чега су најчешћи одабир када је циљ архитектонског концепта формирање стакленог кубуса. Разноликост стаклених површина зид завеса високих објеката варира од употребе транспарентног до рефлектујућег стакла у случајевима када се настоји умањивању габарита објекта се кроз рефлексију на великим стакленим површинама фасада објекти боље уклапају у своје окружење

- Фасаде које теже да комбинацијом транспарентних поља са нетранспарентним пољима испуне постигни динамичнији визуелни ефекат са становишта боја и структура површина.

Код ових фасада се динамичност постиже и применом система са покривним капама које се користе када се настоји визуелном разбијању фасадног омотача. У последње време се примећује тренд употребе овог система уз комбинацију различитих димензија елемената како би се створиле динамичнији ефекти на великим површинама фасада. Такође се користе комбинације структуралних и полуструктуралних зид завеса приликом жељеног наглашавања хоризонталних или вертикалних линија фасаде. Током последњих година визуелна динамичност фасада се постиже комбинацијама транспарентних и нетранспарентних панела организованих у неправилним вертикалним и хоризонталним растерима. Код фасадних омотача где је присутна комбинација транспарентних и нетранспарентних поља, у савременој архитектонској пракси и даље је најзаступљенији концепт примене нетранспарентних панела испуне у нивоу таваница и плафона.

На основу закључака из овог поглавља, дефинишу се основни модели фасада у Поглављу 4, који ће бити предмет даљег истраживања.

3. ЦИРКУЛАРНА ЕКОНОМИЈА У ГРАЂЕВИНСКОЈ ИНДУСТРИЈИ И АРХИТЕКТУРИ

3.1 КОНЦЕПТ ЦИРКУЛАРНЕ ЕКОНОМИЈЕ

Глобалне последице климатских промена видне су у тренутном стању животне средине, где је присутно све веће угрожавање екосистема, изумирање биљног и животињског света, константан раст количине отпада, несташица природних ресурса као и значајно загађење воде и ваздуха. Процена да досадашњи модели који су тежили остваривању одрживости нису довољни да би се смањили негативни утицаји на животну средину, условила је потрагу за новим приступима од којих је један и концепт циркуларне економије. Концепт циркуларне економије још увек се налази у почетној фази, али је јасно да ће због свог значаја условити промене у многим областима, између осталог у грађевинској индустрији а самим тим и архитектонској пракси.

Савремени концепт циркуларне економије представила је фондација Елен МекАртур (*Ellen MacArthur Foundation*) која тренутно представља водећу организацију у овој области подржавајући истраживања и едукацију у целом свету. Међутим овај концепт није у потпуности нов, јер почива на идејама Кенета Боулдинга (*Kenneth E. Boulding*) о формирању кружног модела економије, објављеним још 1966. године у *The Economics of the Coming Spaceship Earth*.²⁹ Аутор је и тада указивао на проблеме ограничених ресурса на земљи и неопходност проналажења новог модела економије у ком ће се ресурси увек поново користити у оквиру кружног процеса производње (Boulding, 1966). У деценијама након тога развијају се различити концепти базирани на сличним идејама од којих су најпознатији концепт од колевке до колевке, регенеративни дизајн, биомимикрија, плава економија и индустријска екологија (Braungart & Mc Donough, 2002).

Циркуларна економија је кључна за постизање циљева истакнутих у оквиру Европског зеленог договора, који подразумева смањење емисије угљен-диоксида на 50% до 2030. године, са тежњом достизања 55% до 2050. године (European Commission, 2019). Иако су са еколошког становишта приоритети циркуларне економије смањење експлоатације ресурса и емисије штетних гасова, фокус концепта је такође и на стварању нових пословних модела који подстичу иновације, транспарентност производних процеса, промене у систему јавних набавки као и промена навика потрошача. Саставни делови овог концепта су и економски раст, стимулација иновација и побољшање сигурности снабдевања сировина.

Циркуларна економија се залаже за глобалну сигурност природних ресурса, борбу са климатским променама, енергетску сигурност, осигуравање довољних количина хране, смањење неједнакости, транспарентност јавних финансија и социјалну сигурност

²⁹ *Kenneth E. Boulding*. (1966). *The Economics of the Coming Spaceship Earth*. У: Jarrett, H., Ed. *Environmental Quality in a Growing Economy, Resources for the Future*. Johns Hopkins University Press, Baltimore, 3-14.

грађана, очување здравља и чишћење окружења и права будућих генерација на ресурса. Фондација *Ellen MacArthur* указује на то да циркуларна економија има за циљ да редифинише раст фокусирајући се на позитивне користи за цело друштво кроз постепено одвајање економске активности од потрошње ограничених природних ресурса (*Ellen MacArthur Foundation, 2015*). Она тежи да постигне одрживи развој на два нивоа: на микро нивоу где се односи на производе, компаније и потрошаче, и макро нивоу градова, региона и нација (*Kirchherr, Reike, & Hekkert, 2017*).

Међутим, транзиција ка циркуларној економији захтева промене у процесима производње, дизајна, пословним моделима и тржишту рада, областима дигитализације и аутоматизације, као и системима образовања (*Ellen MacArthur Foundation, 2015*). У литератури се могу срести и ставови аутора који сматрају да циркуларна економије заправо није довољно еколошка, јер се ослања на индустријске процесе али нико не оспорава њен значај за очување животне средине. Тренутно се широм Европе траже начини за остваривање циљева овог концепта, кроз научне радове и пројекте, док поједине фирме самоиницијативно улажу у нове технологије у циљу новог организовања производних процеса према начелима циркуларне економије. За реалну примену циркуларне економије неопходне су бројне иновације како би се затворио круг производње и прошње, али и законски документи којима би се осигурала конкурентност циркуларних производа на тржишту.

У основи циркуларна економија тежи да унапреди постојећи модел линеарне економије тако што ће омогућити стварање кружног циклуса потрошње ресурса чиме се умањује њихова потрошња. Концепт циркуларне економије има за циљ да моделом кружења спречи неконтролисану експлоатацију природних ресурса смањењем употребе материјала и енергије током целокупног животног века производа (*Geissdoerfer, Savaget, Wocken, & Hultink, 2017*). Кроз заокруживање циклуса производње и употребе производа, успоставља се регенеративни систем економије који доводи до стварања нових вредности на тржишту и потенцијалног економског напретка. Потенцијалне предности стварања новог економског система који је базиран на кружењу материјалних ресурса су развој нових модела пословања, креирање нових занимања и радних места која то кружење омогућавају. Поред тога процењује се развој иновација, повећање конкурентности производа, подизање вредности локалних ресурса, смањење зависности од увоза и целокупно одрживије снабдевање индустрије.

Истраживање концепта циркуларне економије подразумева схватање њених разлика у односу на традиционални модел линеарне економије, а затим и анализу њених основних принципа и стратегија. Свеобухватно схватање овог концепта је неопходно како би се извели закључци за генералну примену, како би се потом утврдио потенцијал његове примене у архитектури.

3.1.1 Разлика између линеарне и циркуларне економије

Први корак у разумевању концепта циркуларне економије подразумева утврђивање разлика у односу на тренутно заступљен модел линеарне економије. Стандардни ток линеарне економије подразумева да сировина која је једном узета из природе, буде уграђена у производ који ће на крају свог животног века бити одложен на депонију. С

обзиром да то подразумева неконтролисану експлоатацију природних ресурса којих је све мање, као потенцијално решење проблема развијен је модел циркуларне економије.

Економија се у општем смислу односи на управљање новцем и ресурсима применом ефикасног система производње, дистрибуције и потрошње производа и услуга. Управо зато је реч економија саставни део овог концепта, јер се он залаже за рационално управљање ресурсима и дуготрајно очување вредности производа. Међутим, за разлику од традиционалне, циркуларна економија тежи успостављању новог система вредности који је није базиран само на материјалној добити, већ је првенствено у складу са очувањем животне средине (Geissdoerfer, Savaget, Bocken, & Hultink, 2017).

Линеарни модел економије функционише на принципу „узми-направи-користи-баци“ и фокусиран је на остваривање профита без обзира на негативне последице по животну средину. На крају линеарног модела производ се у највећем броју случајева баца односно одлаже на депонију, док се врло мали проценат рециклира и поново користи, чиме се у потпуности губи вредност материјала који су у њега иницијално уграђени (Akadiri & Olomolaiye, 2012).

У линеарној економији материјали и енергија се крећу у једном смеру, док у циркуларној економији они круже, чиме се смањује потреба за новим ресурсима, штеди енергија и вода. Циркуларна економија тежи да промени линеарни модел тако што ће га учинити кружним, односно уместо одлагања отпада применити стратегије које ће га вратити у производну фазу и тиме искористити иницијално уграђене сировине (Korhonen, Honkasalo, & Seppälä, 2018). Циркуларна економија представља начин за постизање одрживог развоја тако што ће увести нови процес „производ-отпад-производ“. Разлике у токовима линеарне и циркуларне економије у односу фазе процеса приказане су на Слици 4.

У систему линеарне економије најчешћа три начина за регулацију отпада су рециклирање, сагоревање и одношење на депонију. Сваки од ових начина подразумева велики губитак иницијално искоришћених сировина. У моделу циркуларне економије тежи се избегавању отпада, односно враћању онога што је раније сматрано отпадом у процес производње као ресурса за поновно креирање нових производа у истој или другој индустрији чиме се смањују негативни утицаји на животну средину, док се додатно постиже очување природних ресурса уз финансијске уштеде.

Последња фаза у линеарном моделу повезује се са хијерархијом управљања отпадом као мера која се примењује ради смањења насталог отпада кроз повратак једног дела сировина кроз рециклажу. С обзиром на тежњу ЦЕ да оптимизује ову фазу, често се може чути погрешно тумачење циркуларне економије као побољшаног модела управљања отпадом, иако се она заправо налази изнад овог процеса јер се ради о потпуно другачијем начину размишљања и приступу производњи који подразумевају да на крају животног циклуса производа отпада уопште ни нема. Управљање отпадом има за циљ смањење настале количине отпада, док циркуларна економија има за циљ смањење употребе ресурса и њихово кружење, уз потпуно одсуство отпада. У концепту

циркуларне економије не постоји отпад већ се он сматра ресурсом односно сировином која се може поново употребити у истим или другим производним процесима.



Слика 4. Разлика између тока линеарне и циркуларне економије (Аутор)

Један од проблема шире примене циркуларне економије је и недовољно познавање овог концепта и недостатак смерница за његову примену. Тренутно се сусрећемо са многим погрешним тумачењима циркуларне економије који је поистовећују са рециклажом или управљањем отпадом иако се ради о далеко сложенијем друштвено економском систему. Циљ циркуларне економије је поновна употреба материјала која подразумева његово коришћење у непромењеној сврси. С тога фокус циркуларне економије није на управљању отпадом или рециклажи већ на конструисању и дизајну производа на начин да се на крају животног века могу раставити како би се сировине поново искористиле у производњи производа исте или више употребне вредности.

3.1.2 Дефиниција циркуларне економије

Како је интересовање за концептом циркуларне економије значајно расло током претходне деценије, забележени су и различити покушаји да се одреди јединствена дефиниција овог појма.

Бројни аутори критикују недостатак стандарда у овој области и чињеницу да се циркуларна економија често сувише различито дефинише у зависности од предмета истраживања научних радова, а у пракси у зависности од намене индустрије (Kirchherr, Reike, & Hekkert, 2017; Cattelan Nobre & Tavares, 2021). Један од фактора који отежава дефинисање је изузетна сложеност концепта циркуларне економије и неопходност интердисциплинарног приступа у њеној примени (Norouzi, Chàfer, Cabeza, Jiménez, & Boer, 2021; Geissdoerfer, Savaget, Bocken, & Hultink, 2017). Чак и Европска комисија врло опште дефинише циркуларну економију, као економију у којој се у којој се вредност производа, материјала и ресурса одржава што је дуже могуће, док се стварање отпада своди на минимум (ЕС, 2015).

Обједињена анализа већине постојећих дефиниција може се наћи у чланку *Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions*, у ком су аутори покушали да формулишу јединствену дефиницију на основу података из 114 постојећих научних истраживања. На основу ове анализе аутори су дефинисали циркуларну економију као: „економски систем који настоји да измени постојећи концепт *краја животног века* стратегијама редукације, поновне употребе, рециклаже и обнављања материјала у процесима производње, дистрибуције и потрошње.“³⁰

Овај чланак је објављен 2017. године, док је његова ревизија објављена 2023. године, у ком су додатно анализирани дефиниције које су објављене у међувремену, чиме је њихов број порастао на 221 (Kirchherr, Yang, Schulze-Spüntrup, Heerink, & Hartley, 2023). У овом чланку може се наћи најпрегледнији приказ постојећих дефиниција, табеларно приказаних у односу на извор.³¹

У прегледном чланку литературе која се бави истраживањем циркуларне економије у грађевинској индустрији, закључено је да се у највећем броју савремених истраживања користи дефиниција фондације Елен Мек Артур (Benachio, Freitas, & Tavares, 2020). Према њој је циркуларна економија одређена као „економија која је пројектована тако да буде обновљива и регенеративна и која има за циљ да у сваком тренутку одржава производе, компоненте и материјале на највећем степену искоришћености и вредности, правећи разлике између технолошких и биолошких циклуса.“³²

³⁰ Julian Kirchherr, Denise Reike & Marko Hekkert. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation & Recycling*, 127, стр. 229. (превод аутор)

³¹ Julian Kirchherr, N.-H. Yang, F. Schulze-Spüntrup, M. Heerink & K. Hartley. (2023). Conceptualizing the Circular Economy (Revisited): An Analysis of 221 Definitions. *Resources, Conservation & Recycling*, 194, стр. 10 до 30.

³² Ellen MacArthur Foundation. (2015). *Towards a circular economy: Business rationale for an accelerated transition*, стр. 5. (превод аутор)

3.2 ПРИНЦИПИ И СТРАТЕГИЈЕ ЦИРКУЛАРНЕ ЕКОНОМИЈЕ

Као и у случају дефинисања појма циркуларне економије, развој овог концепта обележило је и вишегодишње покушавање одређивање јасних циљева и принципа, који се могу пратити као смернице за имплементацију ЦЕ. Анализа литературе указује да су и даље присутне бројне недоумице приликом тумачења и јасног раздвајања појмова принципа и стратегија циркуларне економије.

Појмови „принцип циркуларне економије” (*circular economy principles*) и „стратегија циркуларне економије” (*circular economy strategies*) који се користе у оквиру докторске дисертације, су директни преводи енглеских речи које се срећу у свим научним истраживањима која се баве овом темом. Они се у литератури често користе као једнаки појмови, од којих је појам принцип ширег обухвата и укључује стратегије. Под принципима се могу сматрати циљеви којима концепт тежи, док се стратегије односе на конкретне кораке односно акције који се предузимају како би се остварили претходно дефинисани принципи.

Као полазне тачке даљег истраживања, преузимају се основни принципи које је дефинисала фондација Елен Мек Артур.³³ Иако је у неколико претходних година, чак и на нивоу саме фондације долазило до промене назива основних принципа, њихово значење се није мењало. Фондација тренутно дефинише следећа три основна принципа циркуларне економије:

1. Одржавање материјала и производа у употреби што је дуже могуће

Први принцип циркуларне економије указује на значај продужетка животног века сваког производа уз очување вредности материјала, енергије и рада. Његов циљ је омогућавање кружења компоненти и материјала у привредном ланцу што је дуже могуће, чиме се смањује експлоатација природних сировина. За остваривање овог принципа неопходно је обезбедити трајност производа и омогућити њихово растављање на крају животног века. Тиме се обезбеђује поновна употреба компоненти или материјала и повећава потенцијал њихове даље употребе у производима исте или сличне вредности.

2. Смањење отпада и загађења

Други принцип циркуларне економије подразумева елиминацију активности који шкоде људском здрављу и природним системима. Заштита животне средине је заправо један од главних мотива за примену овог концепта. Циркуларна економија скреће пажњу на неопходност регулисања емисије гасова са ефектом стаклене баште и опасних материја које узрокују загађење воде и ваздуха.

3. Обнављање природних система

Трећи принцип циркуларне економије се односи на потпуно избегавање употребе необновљивих извора енергије односно широј примени обновљивих извора енергије уместо фосилних горива.

³³ Преглед основних принципа доступан је на интернет страници: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org>.

Остваривање ових принципа односно начела којима се води концепт циркуларне економије подразумева примену различитих стратегија којима се омогућава поновна употреба искоришћених материјала и редукција отпада. Циљ циркуларне економије је да се кроз стратегије обнове, поправке, поновне употребе или рециклаже продужи животни век производа, користећи енергију добијену из обновљивих извора у тим процесима. Фокус није само на употреби чистих технологија у производним процесима већ и на ограничењу експлоатације природних ресурса и редукцију загађења животне средине.

Циркуларна економија предлаже концепт чији је крајњи циљ балансирање токова ресурса и енергије, оптимизовање употребе сировина кроз циркулисање производа који се стално враћају у претходне фазе производње (Cheshire, 2016). Она покушава да пронађе моделе по којима би се на првом месту продужио животни век производа а затим и омогућила поновна употреба сировина на његовом крају, чиме би се смањила употреба примарних сировина. Стратегије циркуларне економије подразумевају да се већ приликом дизајнирања производа размишља о поновној употреби, растављању, поправци или рециклажи. ЦЕ тежи елиминисању отпада и загађења кроз одржавање материјала у употреби током што дужег временског периода (Akhimien, Latif, & Shan Nou, 2021). Да производ не би постао отпад на крају животног века неопходно је ову фазу узети у обзир приликом прве фазе дизајна. Циљ је да производ буде тако дизајниран да може да се поправља или раставља како би могли да се издвоје појединачни материјали и поново употребе.

Стратегије циркуларне економије настоје да затворе систем линеарне економије кроз кружни процес кретања енергије и ресурса. Како би се омогућило кружење ресурса неопходно је дизајнирање производа на начин који ће омогућавати њихово расклапање како би се материјали од којих су сачињени могли употребити као инпут за производњу истог или сличног производа. Поред кружења ресурса за циркуларну економију значајан је и продужетак животних циклуса производа и материјала, због чега се додатна пажња поклања одржавању и сервисирању производа у циљу продужетка њиховог животног века (Korhonen, Honkasalo, & Seppälä, 2018).

Примена стратегија ЦЕ захтева промене целокупног традиционалног система економије, односно промене у размишљању и пословању свих учесника у производном ланцу:

- Од привредника и произвођача се захтевају иновације самих производа, оптимизација технолошких процеса и рационална употреба ресурса.
- Дистрибутери су у обавези да потрошачима дају свеобухватне податке не само о карактеристикама производа већ и њиховом целокупном животном циклусу, од процеса производње до могућности поновне употребе на крају животног века.
- Корисници би требало да употребљавају производе током што дужег временског периода и да се информишу о могућностима поправке и замене, у циљу продужетка њиховог животног века.
- Од локалних управа се очекује формирање законодавног оквира којим би се регулисале обавезе свих учесника у ланцу циркуларне економије. Имплементација циркуларне економије зависи од доношења одлука на националном нивоу кроз развој стратегија за заштиту животне средине, али и кроз делатност локалних самоуправа, привредника и грађана.

3.3 ЕВРОПСКЕ И НАЦИОНАЛНЕ РЕГУЛАТИВЕ

Подизање свести о климатским променама је утицало на дефинисање бројних циљева за ублажавање њихових негативних утицаја на животну средину широм света попут Агенде 2030 за одрживи развој и Париског споразума постигнутог на нивоу Уједињених нација. Европска комисија је током претходне деценије објавила низ докумената којима се постављају циљеви за ублажавање негативних утицаја на животну средину, а који у обзир узимају и концепт циркуларне економије:

- **Први акциони план за циркуларну економију – Затварање круга**
Децембар 2015. године

У оквиру акционог плана одређени су кораци које ће Европска комисија предузети како би подржала и убрзала прелазак на циркуларну економију кроз рад на међународним документима који ће промовисати примену ЦЕ и рационално управљање ресурсима, као и омогућити едукацију кроз развој међународних програма сарадње свих земаља Европе без обзира на чланство у ЕУ.

- **Европски зелени договор (*European Green Deal*)**
Децембар 2019. године

Договор подразумева смањење емисије угљен-диоксида за 50% до 2030. године, са тежњом достизања нулте емисије угљен-диоксида до 2050. године (European Commission, 2019). у оквиру кога је постављен циљ да Европа постане климатски неутрална до 2050. године. Предложено је да се уведе Европски закон о клими којим би се гарантовало очување животне средине, којим се државе чланице ЕУ правно обавезане на поштовање постављених циљева. Циркуларна економија је договора као пословни модел који је фокусиран на трансформацију досадашњег линеарног модела у циљу одрживог коришћења ресурса и елиминисања отпада.

- **Нови акциони план за циркуларну економију**
Март 2020. године

Циљ плана је да унапреди европску економију кроз одрживо управљање ресурсима и повећање конкурентности уз истовремено очување животне средине. Коришћење сировина у складу са принципима циркуларне економије омогућава смањење експлоатације природних ресурса, док истовремено смањује емисије штетних гасова са ефектом стаклене баште (European Commission, Directorate-General for Environment., 2021).

- **Пакет мера предложених у оквиру акционог плана за циркуларну економију**
2021. - 2022. година

Током 2021. и 2022. године Европски парламент је усвојио неколико докумената који заједно чине Пакет мера за циркуларну економију. У фебруару 2021. године усвојена је резолуција о новом акционом плану за циркуларну економију којом се захтевају додатне мере у циљу бржег постизања еколошки одрживе економије. У марту 2022. године усвојен је Први пакет мера за бржу транзицију ка циркуларној економији јер је закључено да претходно постављени циљеви за смањење емисије угљен диоксида за 50% до 2030. године и потпуно редуковање до 2050. године нису лако оствариви у односу на тренутни напредак.

Акциони план Европске комисије за циркуларну економију обавезује земље чланице ЕУ на израду националних докумената који ће иницирати транзицију ка ЦЕ у појединачним земљама (Vanhamäki, Rinkinen, & Manskinen, 2021). Подаци о напретку сваке земље доступни су на интернет платформи Европске комисије, где се објављују сви званични документи везани за област циркуларне економије.

На основу анализе закључује се да је највећи број националних стратегија објављен у периоду од 2016. до 2021. године. 34 Документи се у највећој мери ослањају на Европске акционе планове за циркуларну економију, прилагођавајући њихове смернице за конкретне услове сваке државе (Mazur-Wierzbicka, 2021). Тако се и у називима докумената види да се ради о акционим плановима или мапа које дају смернице за будућу транзицију земаља ка циркуларној економији. Иницирање регионалних стратегија је у појединим земљама, попут Шпаније и Аустрије, претходило издавању националних стратегија. Са друге стране, у Финској, Белгији и Португалу су прво објављене националне стратегије, као основ према коме су даље развијане стратегије појединачних региона. Земље које предњаче у развоју локалних стратегија које се односе на ниво града су Белгија, Уједињено Краљевство и Холандија. Од земаља у нашем региону, националне стратегије објављене су у Словенији, Црној Гори и Румунији. Поред општих стратегија, издвајају се и оне које се конкретно односе на одређену индустрију или посебно значајан проблем. У Ирској посебна пажња се скреће на отпад, док се у Немачкој разматра и ефикасна употреба природних ресурса (Weber & Stuchtey, 2019). Генерално се у Европи, по броју истраживачких пројеката и иницијатива за примену ЦЕ, издвајају Белгија и Холандија, које су уједно и биле међу првим земљама где су објављене националне стратегије.

Пратећи остале земље, и Србија је 2020. године објавила први национални стратешки документ који се бави концептом циркуларне економије у нашој земљи - „Мапа пута за циркуларну економију у Србији“.³⁴ Циљ документа је указивање на значај преласка са линеарне на циркуларну економију и указивање на главне актере у процесу доношења одлука за прелазак са линеарног на циркуларни ток економије. Он укључује и давање смерница за развој појединачних привредних сектора, између осталих и грађевинске индустрије. Влада Републике Србије је усвојила „Програм развоја циркуларне економије у Републици Србији за период 2022-2024. године“ (Службени гласник РС, број 30/18) којим се подстиче развој нових модела за практичну примену стратегија циркуларне економије.

На основу систематизације података о постојећим стратегијама, доступним на интернет платформи Европске комисије, изведен је преглед докумената у односу на земљу, годину објављивања и ниво примене стратегије, приказан у Табели 1. Стратегије су класификоване према ширини територијалног обухвата, у зависности од тога да ли се примењују на националном, регионалном или локалном нивоу.

³⁴ Подаци о националним стратегијама земаља Европе могу се наћи на интернет платформи Европске комисије: <https://circulareconomy.europa.eu/platform/en/strategies>. Платформа је основана са циљем едукације и пружања заинтересованим актерима, кроз могућност прегледа законских докумената, стратегија и смерница изведених из актуелних истраживања у овој области.

³⁵ Мапа пута за циркуларну економију <https://circulareconomy.europa.eu/platform/en/strategies/roadmap-circular-economy-serbia>

Табела 1. Преглед националних стратегија земаља Европе за развој циркуларне економије.
Ознаке нивоа примене: Н - национална; Р - регионална; Л - локална.

Земља	Назив стратегије	Година	Ниво
Аустрија	<i>The Austrian Circular Economy Strategy</i>	2022	Н
	<i>A Circular Economy Strategy for the Großes Walsertal region</i>	2020	Р
Белгија	<i>Be Circular - Regional Programme 2016 – 2020</i>	2016	Р
	<i>Brussels construction industry roadmap towards a circular economy</i>	2019	Л
	<i>Leuven Circulair</i>	2020	Л
Грчка	<i>National Circular Economy Action Plan</i>	2018	Н
Данска	<i>Strategy for Circular Economy</i>	2018	Н
Ирска	<i>Whole of Government Circular Economy Strategy</i>	2021	Н
	<i>Waste Action Plan for a Circular Economy in Ireland</i>	2020	Н
Италија	<i>Towards a Model of Circular Economy for Italy</i>	2017	Н
Луксембург	<i>Circular Economy Strategy Luxembourg</i>	2021	Н
Немачка	<i>Circular Economy Initiative Deutschland</i>	2021	Н
	<i>German Resource Efficiency Programme II</i>	2016	Н
Пољска	<i>Roadmap towards the Transition to the Circular Economy</i>	2019	Н
Португал	<i>Action plan for circular economy in Portugal: 2017 -2020</i>	2017	Н
	<i>Madeira Circular Agenda</i>	2021	Р
Румунија	<i>National Strategy for the Circular Economy in Romania</i>	2022	Н
	<i>Romania's Circular Economy Action Plan</i>	2023	Н
Словенија	<i>Roadmap towards the Circular Economy in Slovenia</i>	2018	Н
	<i>Strategy for the Transition to Circular Economy in the Municipality of Maribor</i>	2018	Л
Србија	<i>Roadmap for circular economy in Serbia</i>	2020	Н
Уједињено Краљевство	<i>Making Things Last: a circular economy strategy for Scotland</i>	2016	Р
	<i>London's Circular Economy Route Map</i>	2017	Л
Финска	<i>Leading the cycle Finnish road map to a circular economy 2016 - 2025</i>	2016	Н
	<i>The City of Helsinki's Roadmap for Circular and Sharing Economy</i>	2020	Л
Француска	<i>Roadmap to a circular economy: 50 measures for a 100% circular economy</i>	2018	Н
Холандија	<i>A Circular Economy in the Netherlands by 2050</i>	2016	Н
	<i>Circular The Hague: transition to a sustainable economy</i>	2018	Л
	<i>Amsterdam's Sharing Economy Action Plan</i>	2018	Л
Црна Гора	<i>Roadmap Towards the Circular Economy in Montenegro</i>	2022	Н
Чешка	<i>National Circular Economy Strategic Network for the Czech Republic 2040: Circular Czechia 2040</i>	2021	Н
Шведска	<i>Circular economy – Strategy for the transition in Sweden</i>	2020	Н
Шпанија	<i>Espana Circular: Circular Economy Spanish Strategy</i>	2020	Н
	<i>The Andalusian Circular Bioeconomy Strategy</i>	2018	Р

3.4 ЦИРКУЛАРНА ЕКОНОМИЈА У ГРАЂЕВИНСКОЈ ИНДУСТРИЈИ

3.4.1 Утицај грађевинске индустрије на животну средину

Статистика показује да је грађевинска индустрија одговорна за потрошњу 35-45% природних ресурса и 25-40% глобалне енергије, што је чини једним од највећих загађивача животне средине са становишта емисије угљен-диоксида (Mhatre, Gedam, Unnikrishnan, & Verma, 2021; Pomponi & Moncaster, 2017). Стратегије за одржавање квалитета животне средине константно указују на овај проблем и потребе за његово решавање.

Приликом изградње и током употребне фазе објекти троше велику количину природних ресурса и енергије, док се додатни проблем јавља на крају њиховог животног циклуса, односно рушења, када се ствара огромна количина отпада који се одлаже на депоније и тиме додатно штети животној средини (Cheshire, 2016). Потенцијална решења наведених проблема налазе се у концептима одрживости који се у последње време примењују у архитектури.

Током претходних 10 година у свету а нарочито у Европи порастао је интерес за примену циркуларне економије у различитим индустријама, а нарочито у грађевинској (Norouzi, Chàfer, Cabeza, Jiménez, & Boer, 2021). Грађевинска индустрија један је од главних фокуса у оквиру европског Акционог плана јер је процењено да остваривање циркуларног потенцијала у овом сектору има значајан допринос за животну средину (Sáez-de-Guinoa, Zambrana-Vasquez, Fernández, & Bartolomé, 2022).

Током протекле деценије, забележен је убрзани раст интересовања за концептом циркуларне економије у академским, политичким и индустријским круговима. Бројни чланци који се баве прегледом литературе у области грађевинске индустрије указују на све већи број објављених публикација и евидентан пораст интереса за истраживање ове теме (Mhatre, Gedam, Unnikrishnan, & Verma, 2021; Pomponi & Moncaster, 2017).

ЦЕ указује на значај праћења уграђених материјала од фазе производње до фазе демонтаже односно рушења објеката. Она предлаже нови приступ размишљања о употреби ресурса, односно тежи њиховој штедњи кроз стратегије поновне употребе, поправке и рециклаже грађевинских компоненти или материјала од којих су сачињене (Cheshire, 2016). Потенцијал циркуларне економије је у томе да се уштеде грађевински материјали тако што ће се једном искоришћени ресурси поново користити за изградњу објекта истовремено штедећи енергију која је била потребна за њихову екстракцију и обраду.

Грађевинска индустрија је одговорна за велике количине употребе природних ресурса и емисије гасова са ефектом стаклене баште, али и за производњу отпада. Циркуларна економија тежи елиминацији грађевинског отпада, кроз примену стратегија које ће омогућити да се једном уграђени производи врате у процес производње, чиме се редукује количина отпада на крају животног циклуса објеката.

3.4.1.1 Проблем грађевинског отпада у Европи и Србији

Тежња ЕУ је да се до 2024. године око 70% грађевинског отпада поново употреби или рециклира, јер је у оквиру европске директиве из 2008. године установљено да је овај проценат реално остварив у односу на састав грађевинских материјала. Циљ директива је смањење отпада и поновно коришћење сировина како би се смањила потрошња природних ресурса. Грађевински отпад настаје приликом изградње нових објеката или инфраструктуре, односно одржавања или рушења постојећих објеката. Већина грађевинског отпада класификује се као неопсани отпад као што су бетон, цигла, керамика, стакло, бакар, гвожђе, челик, гипс, дрво и мешани отпад. Само 5% грађевинског отпада класификовано је као опасан отпад и односи се на материјале који садрже азбест, живу или сличне супстанце.

Већина грађевинског отпада у Србији завршава на дивљим депонијама иако је законски прописано да он мора бити прописно скупљен, класификован и одложен. Према извештајима грађевински отпад представља две трећине укупног отпада у Србији. Како би се повећала поновна употреба грађевинских производа неопходно је селективно рушење објеката и адекватна сепарација компоненти и материјала. У нашој земљи тренутно не постоји развијена шема рециклаже грађевинског отпада, као и његовог одвојеног скупљања и сортирања. Од укупног отпада рециклира се врло мали проценат, углавном асфалта или метала због његове високе економске вредности.

Према подацима Статистичког годишњака Републике Србије за претходне године, у нашој земљи је генерисана знатно већа количина грађевинског отпада у поређењу са другим европским земљама. У Србији се рециклира само 5% грађевинског отпада што је изузетно нижи проценат у односу на друге европске земље попут Немачке и Финске где се рециклира око 90% грађевинског отпада. Према подацима републичког фонда за статистику у претходним годинама је рециклирано између 3 и 5% грађевинског отпада у Србији.

Програм управљања отпадом у Републици Србији за период од 2022 до 2031. године (Службени гласник РС, бр.12/2022) указује да се највећи део грађевинског отпада депонује или непрописно одлаже заједно са комуналним отпадом на општинским несанитарним депонијама.³⁶ Састав грађевинског отпада је такав да највећи проценат заузима земља од ископа, док отпад од грађења и рушења чини једну трећину. Према проценама Додатни проблем представља чињеница да се од те превелике количине отпада врло мали проценат и рециклира, иако постоји законска обавеза да је произвођач отпада у обавези да га одвојено прикупи и сортира у складу са будућим третманом. С обзиром да рециклирање отпада од грађења и рушења зависи од раздвајања на самом извору, а код нас је заступљено мешано прикупљање отпада и одлагање на илегалним депонијама, степен загађења животне средине се само повећава. Многи грађевински материјали се у развијеним срединама и сада рециклирају, попут челика, алуминијума и бетона. Ови материјали се међутим даље употребљавају у изради производа ниже вредности.

³⁶ Министарство заштите животне средине Републике Србије. (2022). Програм управљања отпадом у Републици Србији за период 2022-2031. године. Београд: Влада Републике Србије.

3.4.2 Промене у грађевини и архитектури условљене концептом ЦЕ

Како би се остварили циљеви постављени у оквиру акционог плана за циркуларну економију неопходне су бројне промене у грађевинској индустрији које подразумевају ефикаснију употребу ресурса и енергије. Због тога се у Европи тренутно ради на развоју стратегија и законских регулатива којима би се сви произвођачи обавезали на вршење детаљне анализе утицаја на животну средину током целокупног животног циклуса производа. Тренутно се финансијски подстичу унапређења производних процеса кроз употребу технологија које имају мањи негативни утицај на животну средину. Међутим проблем производње грађевинских производа који се могу поново употребити је иницијално повећање цене и некомпетентност на тржишту у односу на традиционално применљиве производе.

Анализом библиографских извора о концепту циркуларне економије уочено је да се њени принципи не могу тако лако применити у грађевинској индустрији. Концепти циркуларне економије се не могу тако лако применити у грађевини због комплексности зграда и њиховог дугог животног века (Pomponi & Moncaster, 2017). С обзиром да је грађена средина колекција материјала и компонената које су састављене на мање или више ефикасан начин, морају се применити нове стратегије у размишљању како би се повећала одрживост ресурса који су њен саставни део (Sommer & Guldager, 2016).

Тренутно се сусрећемо са два проблема грађене средине са становишта циркуларне економије. Први проблем је велики број постојећих објеката који временом долазе до последње фазе живота, а нису грађени тако да се материјали уграђени у њих могу поново искористити. Други проблем представља недовољна интеграција принципа циркуларне економије у процес планирања нових објеката. Њих би већ сада требало да планирамо према савременим концептима, тако да обухватају системе који се касније могу лако демонтирати и раставити на материјале који ће се користити у другим објектима или рециклирати (Sanchez & Naas, 2018). Остваривање потенцијала циркуларне економије највећи допринос даје у пројектовању нових објеката кроз избор оптималних решења у фази дизајна.

Проучавањем библиографских извора установљено је да не постоји јасна дефиниција циркуларног објекта, али се кроз примере научних истраживања доступних у литератури закључује да се ради о одрживој целини чије су појединачне компоненте планиране тако да се на крају животног века могу раставити како би се поново искористили материјали који их чине.

Развој бизнис модела који подржавају циркуларну економију захтева и промену у начину размене информација између укључених актера. Највећи изазов представља губљење информација током употребне фазе објекта, због чега је неопходно имати једну базу података у којој ће они бити бележени од фазе производње до фазе монтаже (Giovanardi, Konstantinou, Pollo, & Klein, 2023). Очекује се да ће архитекта бити главни актер за систематизацију података о свим компонентама које се уграђују у објекат, који ће се бележити у пасошу уграђених материјала (Benachio, Freitas, & Tavares, 2020).

Поред тога у будућности се очекује и обавезно издавање пасоша материјала, где ће бити приказани детаљни подаци о уграђеним материјалима, њиховим количинама,

подаци о процесу производње, упутства за одржавање, очекиван животни век и сценарио употребе након демонтаже (Honic, Kovacic, & Rechberger, 2019).

У истраживањима примене ЦЕ у грађевинској индустрији се као основне области у којима би требало да дође до имплементације концепта циркуларне економије се препознају:

Имплементација принципа и стратегија циркуларне економије од самог почетка процеса планирања узимајући у обзир цео животни циклус објекта,

- омогућавање растављања уграђених компоненти и материјала како би се омогућила њихова поновна употреба,
- имплементација прорачуна више животних циклуса и процена утицаја објеката на животну средину од фазе производње до фазе рушења,
- продужетак периода употребе објекта као и свих компоненти од којих је сачињен,
- бележење података о уграђеним материјалима и давање информација о томе колико њих се може поново употребити на крају животног циклуса.

Добар дизајн подразумева и то да је могуће лако извршити пренамену објекта, што је често неопходно током животног века од преко 50 година. Приликом пројектовања објеката неопходно је узети у обзир што више сценарија који се могу догодити током животног века. На тај начин се омогућава продужетак његовог животног века. То захтева флексибилност у организацији простора које се могу лако прилагодити различитим наменама коришћења простора. Објекти који нису подложни лаким променама често морају бити рушени пре истека животног века. Што је животни век објекта дужи, то је његов негативан утицај на животну околину мањи.

Колико год дуготрајан објекат био, у једном тренутку свакако мора бити срушен, јер постоји потреба за новим, с тога морамо пројектовати тако да на крају животног циклуса имамо мање отпада а више сировина или система који се могу поново употребити. Дизајн треба да омогући да делови објеката на крају животног века не постају отпад већ сировине које се поново враћају у производњу.

Како би се остварили циљеви постављени у оквиру акционог плана за циркуларну економију неопходне су бројне промене у грађевинској индустрији које не подразумевају само ефикаснију употребу ресурса и енергије, већ и промену процеса пројектовања које ће укључивати свеобухватно сагледавање целог животног циклуса једног објекта.

3.4.2.1 Позиција циркуларне економије у животног циклусу објеката

У зависности од тога каква технолошка решења архитекти бирају, зависи перформанса зграде током њеног целог животног века. Од када је примена стратегија одрживости присутна у планирању објеката тежи се оптимизацији потрошње оперативне енергије. Међутим, како су последњих година развијена бројна решења за редукацију потрошње оперативне енергије, поставило се питање оптимизације уграђене енергије у објектима (Rösk, и други, 2020).

Циркуларна економија је препозната као концепт који би могао да допринесе смањењу емисија угљен-диоксида које се везују за фазу производње, употребе и краја

животног века целог објекта или његових појединачних система (Pomponi & Moncaster, 2017). Да би се разумеле могућности примене принципа циркуларне економије у архитектури неопходно је сагледати фазе животног циклуса једног објекта као и појединачне слојеве које су саставни део сваког објекта.

Животни циклус објекта се може сагледати кроз три основне фазе: производну фазу, употребну фазу и фазу рушења. Време трајања ових животних фаза зависи од бројних фактора попут карактеристика самог објекта, дизајна, врсте уграђених система и одабраних материјала, преко локације, намене и корисника. Свака од наведених фаза се дефинише кроз одређене процесе који се надовезују један на други (Славковић, 2016). Важан сегмент ових процеса је употреба енергије за њихово обављање која има директни утицај на животну средину кроз утрошак извора енергије и емисију угљен-диоксида.

Фазе животног циклуса зграде:

Фаза А – производна фаза

У првој фази се од сировина производе појединачни материјали односно системи који ће бити транспортовани на градилиште и уграђени у објекат на лицу места или постати део префабрикованих конструкција склопљених у фабрикама. Енергија употребљена у овој фази се представља као уграђена енергија. Ова фаза такође подразумева и планирање односно дизајн и заједно са производњом материјала и изградњом објекта траје у просеку од 2 до 5 година. У фазу А спадају:

- Екстракција сировина из природне средине
- Транспорт до фабрике
- Производња материјала
- Производња система односно компоненти
- Транспорт до градилишта
- Изградња и уградња компоненти у објекат

Фаза Б – употребна фаза (40-60 година)

Употребна фаза објекта је она која најдуже траје јер подразумева коришћење зграде. Енергија у овој фази се представља као оперативна енергија и прорачунава се кроз неопходну енергију за грајање, хлађење, обезбеђење топле воде, осветљење и електричне уређаје (Crawford, 2011). У зависности од намене, конструктивних и економских карактеристика век ове фазе изузетно варира од објекта до објекта и у просеку износи од 40 до 80 година, уколико се у међувремену не предузму мере за његов продужетак. У фазу Б спадају:

- Коришћење објекта
- Одржавање
- Обнова/унапређење
- Промена намене

Фаза Ц – фаза рушења

Ово је најкраћа животна фаза објекта и њен кључни део је регулација отпада грађевинских материјала, система и производа. У зависности од врсте уграђених система они се могу демонтирати или срушити након чега се најчешће заједно са осталим

отпадом одвозе на депоније. Фаза рушења траје свега неколико месеци и утрошак енергије у овом процесу је знатно нижи него у претходним. У фазу Ц спадају:

- Рушење
- Управљање отпадом/сортирање
- Транспорт од локације до места обраде
- Одлагање или рециклажа

Тренутно актуелни модел линеарне економије је фокусиран на профит док занемарује утицаје на животну средину јер подразумева коришћење сировина ради изградње објеката који на крају његовог животног века постају отпад. Објекте које градиво данас остављамо наредним генерацијама и оне су те које ће морати да се суочавају са рушењем објеката и великом количином отпада повезаном са тим. Како фаза коришћења објекта у просеку износи 60 до 100 година учесници у његовом планирању и изградњи морају бити свесни да одлукама у током процеса дизајна у великој мери утичу на количину природних ресурса и енергије која ће се користити у овом дугогодишњем периоду али и тога шта се дешава на крају његовог животног циклуса.

У претходним деценијама пројектовање енергетских ефикасних објеката је постало стандард узимајући у обзир потрошњу енергије током оперативне фазе животног циклуса објеката. У смислу циркуларне економије сада се говори и о објектима који ће заправо моћи да се по потреби расклопе како би материјали уграђени у њих могли поново да се искористе. Због тога је важно да се почетка процеса планирања размишља о томе шта ће бити са уграђеним материјалима и системима на крају животног века зграде (Akanbi L. A., и други, 2018). Да би се остварио систем циркуларне економије морамо променити начин на који градиво објекте за шта су нам потребне нове технологије градње али и стратегије у пројектовању.

На основу анализе садржаја литературе релевантне за предмет истраживања уочено је да се највећи број научних истраживања бави појединачним фазама животног циклуса изграђених објеката. У складу са растом стандарда енергетске ефикасности током претходне две деценије, истраживања се у највећој мери фокусирају на употребну фазу објекта, смањујући потребу за количином енергије потребне за оперативне системе објекта или инсталацијом система који користе обновљиве изворе енергије. Проучавање проблема потрошње уграђене енергије током производне фазе је заступљено у мањем обиму у светској литератури, али су подаци о производном процесу појединачних материјала који се користе у грађевинској индустрији детаљно истражени. Пораст емисије угљен-диоксида подстакао је бројна инострана истраживања базирана на употреби методе под називом *LCA - life cycle assessment* која се односи на процену укупне потрошње уграђене и оперативне енергије. Међутим, ова метода не обухвата анализу потенцијала поновне употребе материјала на крају њиховог животног циклуса (van Stijn, Malabi Eberhardt, Wouterszoon Jansen, & Meijer, 2021).

Иако је фокус циркуларне економије на поновној употреби ресурса на крају њиховог животног циклуса, њено остваривање је могуће једино уколико је објекат адекватно дизајниран на самом почетку животног циклуса.

3.4.2.2 Веза циркуларне економије и животног века делова објеката

Циркуларна економија не посматра објекат само као јединствену целину већ настоји да утврди појединачне системе у оквиру њега. Савремене пракса показује да се објекти током животног века често мењају покушавајући да задовоље новонастале стандарде у организацији простора, унутрашњем комфору или потрошњи енергије. Различити утицаји доводе до тога да често мењамо само један део објекта због чега се у систему циркуларне економије настоји истраживању и појединачних система како би се утврдиле могућности продужења њиховог животног века и поновне употребе на крају истог.

Посматрање објеката као скупа система се заснива на теорији слојева архитекте Френка Дафија (*Frank Duffy*) која је касније додатно развијена од стране Стјуарта Бренда (*Stewart Brand*) у књизи „*How Buildings Learn - What happens after they're built*” из 1994. године.³⁷ Ова теорија подразумева да се у оквиру једне зграде може издвојити 6 основних слојева који имају различити очекивани животни век трајања. Слојеви су одређени на основу своје различите функције у оквиру објекта, те се у зависности од захтева појединачно мењају током животног века целог објекта (Brand, 1994). На овој теорији су заснована многа научна истраживања која се баве истраживањем потенцијала примене концепта циркуларне економије на зграде.

У оквиру теорије издвојени су следећи слојеви од којих се састоји свака зграда, уз дефинисање њиховог просечног животног века, односно временског периода у оквиру кога долази до њихове замене:

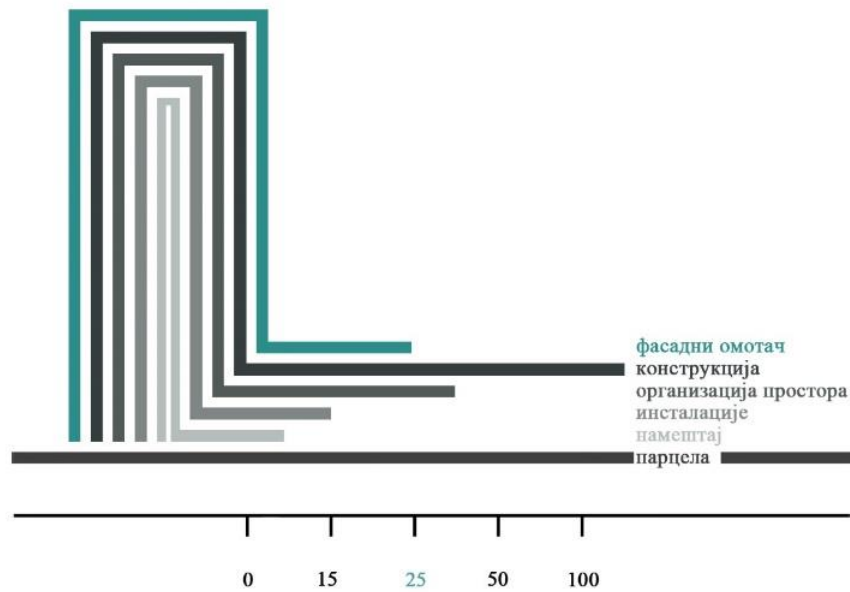
- **Парцела – без временског ограничења**
Подразумева географски одређену позицију објекта која кроз параметре димензија, оријентације, терена, климатских услова, социјалног и културолошког контекста у коме се налази утиче на његов целокупан дизајн. Парцела је непроменљива током целог животног века објекта.
- **Конструкција – 30 до 300 година**
Односи се на носеће елементе објекта и, у зависности од конструктивних система, изабраних материјала и везе између њих, њен животни век изузетно варира.
- **Фасадни омотач – 20 до 25 година**
Фасадни омотач се у складу са развојем концепта одрживог дизајна често мења како би испунио све захтевније стандарде енергетске ефикасности. Такође, на промену фасада често утиче и тежња за променом изгледа објекта.
- **Инсталације – 7 до 15 година**
Инсталације подразумевају мрежу система за оперативне функције објекта попут грејања, хлађења, вентилације, воде и осветљења. Мењају се у периоду од око 10 година, и то најчешће ради унапређења самих система или промене унутрашње организације објеката.
- **Организација простора – 3 до 30 година**

³⁷ Stewart Brand. (1994). *How Buildings Learn - What happens after they're built*. New York: Viking Press.

Унутрашња организација простора повезана је са наменом објеката, а у складу са брзим променама животних и радних навика карактеристичних за савремено друштво, често се дешава да објекат једне намене неколико година каније буде прилагођен за другу.

▪ **Намештај – промене на месечном или годишњем нивоу**

Делови ентеријера зграде мењају се сваких неколико година, док се сам намештај на годишњем или месечном нивоу.



Слика 5. Животни век делова објекта (Аутор према Brand, 1994)

У оквиру претходно наведене теорије слојева примећено је да се за време трајања животног века једног конструктивног система објекта његова и фасада и организација унутрашњег простора морају променити неколико пута (Слика 5). У складу са актуелним стандардима енергетске ефикасности у погледу термичког и визуелног комфора делови фасада се често мењају како би се постигла боља изолација или регулисала засенчења и нивои осветљења. Избор фасадног омотача је најчешће условљени архитектонским концептом због чега се оне препознају као поље у ком архитектонска струка може допринети у њиховом приближавању концепту циркуларне економије. Неопходно је остварити оптимизацију животног века фасадних омотача, али и његов целокупни животни циклус.

3.5 ПРИМЕНА СТРАТЕГИЈА ЦИРКУЛАРНЕ ЕКОНОМИЈЕ У АРХИТЕКТУРИ

Иако је током последњих година знато порастао број истраживања примене ЦЕ у грађевинској индустрији и архитектури конкретна примена у пракси се своди на тек неколико пројеката. Разлог мање заступљености пројектовања применом принципа и стратегија циркуларне економије у архитектури још увек није широко заступљено јер не постоје конкретне смернице или стандарди за њихову примену.

У оквиру одређених научних истраживања утврђују се могућности примене принципа и дизајн стратегија ЦЕ приликом пројектовања објеката (Akhimien, Latif, & Shan Hou, 2021; Guldager & Sommer, 2016). Анализом литературе се закључује да предлог примене принципа и стратегија ЦЕ иде у многим различитим правцима истраживања

Свеобухватни преглед стратегија које се могу применити приликом планирања објеката у складу са концептом циркуларне економије приказан је у чланку *Building design and construction strategies for a circular economy* (Malabi Eberhardt, Birkved, & Birgisdottir, 2020) У њему су на основу систематизације сазнања из анализиране литература о примени дизајн стратегија за пројектовања и извођење објеката, утврђује које стратегије се могу повезати са концептом ЦЕ. Такође се указује на заступљеност њихове реалне примене у архитектонској пракси (Malabi Eberhardt, Birkved, & Birgisdottir, 2020). Аутори примећују да је највећа препрека за ширу примену у недостатку сазнања о утицајима на животну средину и повезаности концепта циркуларне економије са реалном праксом.

Аутори чланка су формирали групе на основу којих су дефинисали стратегије које су поделили у односу наво примене у згради:

- на нивоу целог објекта су применљиве стратегије које се односе на његово прилагођавање променама намене и обезбеђивање независности система који се уграђују у објекат,
- на нивоу компоненти се примењују стратегије које подразумевају подразумевају дизајн за демонтажу, пројектовање модуларних елемената, префабрикацију, стандардизација, омогућавање поновне употребе постојећих елемената и материјала,
- На нивоу материјала се примењују стратегије које се односе на секундарних сировина, издржљивост уграђених материјала, век трајања, и оптимизација њихове укупне количине.

Добар дизајн објекта подразумева и то да је могуће лако извршити пренамену објекта, што је често неопходно током животног века од преко 50 година. Приликом пројектовања неопходно је узети у обзир што више сценарија који се могу догодити током животног века објекта, флексибилност у организацији и одабир система који се могу лако демонтирати осигурава дужи век објекта јер објекти који нису подложни лаким променама често морају бити рушени и пре времена. Циљ је да изграђени објекат има што дужи животни век, јер се на тај начин смањује његов негативан утицај на животну околину.

У оквиру концепта ЦЕ такође леже стратегије поновне употребе зграда или њихове адаптације, концепти који су и данас уобичајени (Brand, 1994). Зграде треба да буду

пројектоване у складу са принципом дизајн за прилагодљивост, како би било спречено да застаре и претворе се у отпад. Капацитет зграда да се прилагоде променама дефинисан је већ у првој фази планирања јер се већ тада одређује просторни и технички капацитет којим се оне могу да се прилагоде променљивим захтевима друштва.

Колико год дуготрајан објекат био, свакако у једном тренутку мора бити срушен јер постоји потреба за новим, с тога морамо узети пројектовати тако да приликом тог рушења имамо што мање отпада а што више сировина или система који се могу поново употребити. Дизајн објекта треба да омогући да на крају животног века они не постају отпад већ сировина која се поново враћа у производњу (Reike, 2018). Да би се смањила примарна екстракција сировина у грађевинског индустрији, мора се смањити губитак материјала током животног циклуса зGRADE (Sommer & Guldager, 2016; Jin & Overend, 2014). Ово је могуће постићи продужетком периода функционалног коришћења зGRADE и њених компоненти кроз продужетак животног века, омогућавање одржавања и замене, у циљу избегавања рушења целе зGRADE и депоновања свих искоришћених грађевинских производа.

Значајно за остваривање циркуларног потенцијала материјала и компоненти уграђених у објекат је познавање њиховог животног века у односу на животни век објекта. Делове објекта који су кратког животног века попут делова ентеријера требало би пројектовати тако да нису залепљени хемијским средствима већ спојени механичким везама које се могу лако раставити, како би могли поново да се употребе. Спајање различитих материјала везама које спречавају њихово јасно раздвајање на крају животног века би требало у потпуности избегавати јер онемогућава очување вредности иницијално уграђених материјала. Уколико у објекту постоје елементи чији је животни век дужи од самог објекта, попут одређених делова конструкције, потребно је омогућити њихово раздвајање од свих других елемената како би могли као комплетно исте структуре да се искористе у другом објекту.

Циркуларна економија предлаже неколико принципа којима се продужава животни век компоненти, омогућава њихово лако растављање, поновна употреба делова или основних материјала у циљу смањења отпада и експлоатације природних ресурса, чиме долази и до редукције потрошње енергије у свим наведеним процесима.

Стратегија која се истиче у највећем броју научних истраживања која се баве темом примене ЦЕ у архитектури је пројектовање односно дизајнирање компоненти на начин да се на крају животног века могу лако раставити. У страниј литератури ова стратегија се означава скраћеницом DfD (Design for Disassembly) односно дизајн за демонтажу. Иако се сматра да ова стратегија има један од највећих потенцијала, њена примена у пракси је заправо врло ограничена јер захтева многобројне иновације и време за смишљање потпуно нових и нестандардизованих система. Гледано са аспеката оптимизације тренутно се претпоставља да највећи потенцијал у стварању циркуларних објеката имају стратегије које подржавају дизајн у који је од почетка укључен сценарио за поновну употребу или рециклажу материјала на основу унапред планираног поступка демонтаже (Kragh & Jakica, 2022; Binow Bitar, Bergmans, & Ritzen, 2022; Akanbi L. , и други, 2019).

Тренутно су у развоју различити алати за процену нивоа демонтаже зGRADE, као што је европски оквир за одрживе зGRADE *Level(s)* и белгијски оквир *GRO*, али иако се могу

узети као релевантна основа њихова шира примена још увек није заступљена. Неколико истраживања предлаже рангирање могућности демонтаже од 1 до 0, у коме најбоље ранжирани системи који су спојени само сувим везама које се могу демонтирати без оштећења материјала и производа добијају оцену 1, док се они код којих није могуће раставити елементе због хемијских веза којима су спојени оцењују нулом. У истраживању које се бави пројектовањем циркуларне фасаде стамбеног објекта у Холандији рангирање могућности демонтаже спроведено је на основу типа везе (сува веза, веза помоћу додатних елемената или хемијска веза), приступачности везе у односу на то да ли оштећује околне системе или не, и тога да ли укључује или се преклапа са другим елементима (Binow Bitar, Bergmans, & Ritzen, 2022).

Дизајн за демонтажу подразумева пројектовање на начин да се у првом кораку оптимизује свака компонента самостално, а затим и њена веза са компонентама које је окружују. Значај ове стратегије је у томе што она у великој мери утиче на примену других стратегија ЦЕ (Dutch Green Building Council, 2021).

Циркуларна економија тежи затварању циклуса и уместо одлагања грађевинског отпада да га елиминише тиме што ће водити рачуна о уграђеним материјалима и системима од фазе производње до фазе демонтаже односно рушења. Потенцијал циркуларне економије је у томе да се уштеде грађевински материјали тиме што ће се једном искоришћени ресурси поново користити за изградњу објекта истовремено штедећи енергију која је била потребна за њихову екстракцију и обраду (Hart, Adams, Giesekam, Tingley, & Pomponi, 2019).

Стратегије циркуларне економије подразумевају унапређење до сада коришћеног оквира 3R: Reduce (редуковати односно смањити), Re-Use (поново употребити) и Recycle (рециклирати) (Cheshire, 2016). Ове три ознаке део су симбола Мобијусове траке који садржи три стрелице повезане у облику троугла и користи се широм света као ознака за рециклажу. У односу на комплекснији приступ поновном искоришћавању материјала, циркуларна економија предвиђа оквир стратегија 9R којима се настоји удаљавању од линеарне економије (Слика 6).



Слика 6. Стратегије оквира 9R

Иако је поновна употреба на крају животног века боља опција од рециклаже јер омогућава мању потрошњу енергије током обраде, рециклажа је реалнији сценарио за компоненте које се уграђују у зграде. Највећи потенцијал поновног коришћења имају материјали и производи који су што мање обрађени, због чега би требало да буду чешћи одабир архитеката (Berge, 2009). Раније се бенефитом сматрало чак и сагоревање производа на крају животног циклуса у циљу повратка енергије али је овај концепт у хијерархији циркуларне економије непожељан. Омогућавањем да се компоненте које се ипак уклоне поново искористе или рециклирају, одржава се вредност уграђених материјала, тиме што могу поново постати сировине за производњу нових материјала, чиме се редукује количина материјала која завршава на депонији, а самим тим се смањује потреба за експлоатацијом примарних сировина (Baker-Brown, 2017). У оквиру рециклаже материјала постоји разлика између затвореног и отвореног циклуса где први подразумева обраду материјала и поновну употребу у истим производима, док други подразумева обраду материјала и коришћење у другим врстама производа ниже вредности (Braungart & Mc Donough, 2002).

Уопштено посматрано постоје две могућности приликом одабира материјала и компоненти при пројектовању циркуларног објекта. Прва могућност је проналазак и употреба производа који су већ коришћени у другим објектима, док је други одабир производа који ће на крају животног века у пројектованом објекту моћи да се поново користе у неком наредном објекту. С обзиром да већина постојећих објекта није пројектована тако да се материјали и производи који су у њих уграђени селективно демонтирају и поново користе, тренутно новоградња има већи циркуларни потенцијал.

Приликом одабира нових материјала неопходно је знати позадину њиховог целокупног животног циклуса. Прелазак са линеарне на циркуларну економију захтева дубље разумевање материјала, токова производње и снабдевања, као и повратка сировина на крају животног века (Honic, Kovacic, & Rechberger, 2019). Такође од великог значаја је и набавка материјала од локалних произвођача у циљу елиминисања потрошње енергије и емисије штетних гасова приликом транспорта од фабрике до градилишта. Узимајући у обзир крај животног циклуса појединачних елемената али и целог објекта треба узети у обзир могућности поновне употребе материјала, локалне произвођаче којима су потребни, систем власништва и продаје, удаљеност места на којима ће бити поновно коришћени као и могућности одржавања њихове вредности на истом нивоу у следећем животном циклусу (Reike, 2018).

3.5.1.1 Анализа стратегија фирме АРУП и фондације Елен Мек Артур

Фирма АРУП је 2022. године у сарадњи са фондацијом Елен Мек Артур развила интернет платформу *Circular Buildings Toolkit* у оквиру које је представљен скуп стратегија и мера које је могуће применити у циљу интеграције и принципа циркуларне економије у пројектовање објеката.

Платформа је намењена архитектама, грађевинским инжењерима, дизајнерима ентеријера и инвеститорима који кроз детаљно објашњење стратегија циркуларне економије као и примере изведених објеката могу да се информишу о могућностима њихове примене у различитим фазама процеса пројектовања.

Стратегије су подељене у четири основне групе које подразумевају различите приступе пројектовању циркуларних објеката:

- Први приступ се односи на одбијање новоградње
- Други приступ подразумева планирање и грађење објеката за дуготрајну употребу.
- Трећи приступ указује на значај ефикасног грађења
- Четврти приступ се односи на градњу исправним материјалима.

У оквиру наведених приступа распоређено је укупно десет стратегија које су затим детаљно објашњене уз предлог акција које је неопходно предузети у циљу њиховог остваривања. Преглед стратегија у оквиру наведених приступа приказан је у Табелама 2,3,4 и 5.

Табела 2: Анализа стратегија ЦЕ предложених од стране фирме АРУП и фондације Елен Мек Артур у оквиру интернет платформе *Circular Buildings Toolkit* (приступи 1 и 2, стратегије 1, 2 и 3).

I Приступ	Не градити ништа
Стратегија	1. Одбијање непотребне новоградње
Циљ	Избегавање интензивне употребе материјала неопходних за изградњу нових објеката, на основу процене да ли је новоградња неопходна или је могуће искористити и прилагодити неки од постојећих објеката.
Примена	1.1 Поновно коришћење или реновирање постојећих објеката.
II Приступ	Градити за дуготрајну употребу
Стратегија	2. Повећање искоришћености простора
Циљ	Пројектовање простора узимајући у обзир различите потенцијалне сценарије коришћења. Омогућавање мултифункционалног коришћења простора чија је основна намена краткотрајна, кроз могућност прилагођавања и преграђивања просторија. На овај начин се повећава потенцијал коришћења већ изграђених објеката и смањује потреба за изградњом нових.
Примена	2.1 Пројектовање простора за више различитих намена 2.2 Пројектовање отворених простора без фиксних физичких баријера 2.3 Повећање могућности употребе простора који се на дневној бази кратко користе 2.4 Узимање у обзир различите режиме коришћења простора приликом пројектовања техничких инсталација 2.5 Пројектовање простора који се по потреби могу одвојити лаким, покретним преградама
Стратегија	3. Пројектовање за дуготрајност
Циљ	Одржавање објекта у употреби коришћењем производа који имају дуг животни век, као и могућност поправке и одржавања. Дуготрајност компоненти директно је повезана са дизајном, који би требало да буде такав да усклади животне векове различитих компоненти, омогући дугорочно коришћење или поновну употребу на крају животног века.
Примена	3.1 Пројектовање узимајући у обзир прилагођавање климатским променама у будућности 3.2 Избегавање комплексне форме и нестандардизоване димензије елемената 3.3 Истраживање могућности употребе изнајмљених производа 3.4 Одабир конструктивног система дугог животног века 3.5 Усклађивање животног века уграђених материјала и компоненти са укупним предвиђеним животним веком целог објекта 3.6 Провера целокупног животног циклуса свих уграђених материјала и производа, ради повећања могућности поновне употребе на крају њиховог животног века

Табела 3: Анализа и интерпретација стратегија ЦЕ предложених од стране фирме АРУП и фондације Елен Мек Артур (приступ 2, стратегије 4 и 5)

II Приступ	Градити за дуготрајну употребу
Стратегија	Пројектовање за адаптивност
Циљ	Стратегија тежи омогућавању прилагодљивости зграде током фазе коришћења. Зграде имају кратак функционални век, због чега је обезбеђивање прилагођавања новим функцијама како би задржале своју вредност.
Примена	4.1 Одабир конструктивног растера који ће омогућити прилагођавање и преграђивање простора у случају промене намене 4.2 Пројектовање фасаде која ће бити погодна за различите унутрашње поделе простора 4.3 Омогућавање прилагодљивости инсталационих система 4.4 Издавање упутства за могућу реорганизацију простора
Стратегија	Пројектовање за демонтажу
Циљ	Ова стратегија има за циљ да омогући демонтажу на крају животног века компоненти. Неопходно је унапред дизајнирати делове објекта тако да се предвиди растављање на крају животног циклуса. Треба омогућити лак приступ везама и независност компоненти како би се приликом њихове демонтаже избегло оштећење осталих делова објекта.
Примена	5.1 Омогућавање демонтаже појединачних система и осигуравање њихове независности од других чији је употребни век у објекту краћи 5.2 Омогућавање лаке доступности међусобних веза различитих система и компоненти 5.3 Издавање упутства за демонтажу свих уграђених компоненти

Табела 4: Анализа стратегија ЦЕ предложених од стране фирме АРУП и фондације Елен Мек Артур (приступ 3, стратегије 6 и 7)

III Приступ	Градити ефикасно
Стратегија	6. Одбијање непотребних елемената
Циљ	Циљ стратегије је смањење уграђене количине потрошње материјала на свим нивоима. Тежи једноставним приступима у планирању објекта и разматрању стварних потреба за компонентама и материјалима. Циљ је испитивање могућности одбијања одређених компоненте, без угрожавања испуњавања захтева перформанси.
Примена	6.1 Одбијање пројектовања простора чије димензије превазилазе стварне функционалне потребе 6.2 Смањење броја паркинг места на локацији пројектовањем објекта у зонама које су лако доступне јавним превозом 6.3 Избегавање сложених механичких инсталација и давање предности пасивним системима 6.4 Смањење интензивне обраде завршних слојева подних и зидних облога у ентеријеру
Стратегија	7. Ефикасна употреба материјала
Циљ	Стратегија има за циљ испуњавање захтева пројекта уз минималну потрошњу материјала и употребу материјала на максималном нивоу перформанси. Тежи избегавању конструктивних система великог распона система и употребом материјала високих перформанси.
Примена	7.1 Избегавање конструкција које захтевају интензивну употребу материјала, попут комплексних подземних или екстремно високих структура 7.2 Одабир композитних и хибридних решења којима је могуће смањити укупну тежину конструкције 7.3 Смањење димензија конструктивних елемената одабиром материјала бољих перформанси 7.4 Употреба напредних инжењерских технологија и компјутерских симулација у циљу провере потенцијалне редукације употребљених материјала у конструктивном и фасадном систему 7.5 Смањење грађевинског отпада у фазама производње и изградње применом префабрикованих елемената

Табела 5: Анализа стратегија ЦЕ предложених од стране фирме АРУП и фондације Елен Мек Артур (приступ 4, стратегије 8, 9 и 10).

IV Приступ	
Градити употребом исправних материјала	
Стратегија	8. Смањење употребе природних ресурса и необновљивих материјала
Циљ	Ова стратегија има за циљ превенцију потрошње природних ресурса (посебно критичних сировина) и промоцију употребе секундарних сировина. На свим нивоима, има за циљ да промовише употребу поново коришћених производа и рециклираних материјала, као и да промовише употребу обновљивих и природних материјала.
Примена	8.1 Поновна употреба већ коришћених компоненти. 8.2 Употреба бетона са високим уделом рециклираног материјала 8.3 Употреба дрвета 8.4 Употреба обновљивих материјала 8.5 Смањење употребе примарних сировина
Стратегија	9. Смањење употребе материјала са високим емисијама гасова са ефектом стаклене баште
Циљ	Ова стратегија има за циљ смањење употребе материјала чија производња има високе емисије угљен-диоксида и негативне утицаје на животну средину. Она даје приоритет добављачима који користе поново употребљене производе, рециклиране материјале, обновљиве материјале или производе који користе обновљиву енергију у својим производним процесима.
Примена	9.1 Прорачун и праћење укупне уграђене енергије приликом процеса пројектовања 9.2 Праћење и оптимизација уграђене енергије конструктивног система 9.3 Праћење и оптимизација уграђене енергије фасадног система 9.4 Праћење и оптимизација уграђене енергије инсталација 9.5 Праћење и оптимизација уграђене енергије елемената ентеријера 9.6 Свеобухватно документовање пројекта кроз детаљан дигитални модел који садржи информације о врсти и количини уграђених материјала
Стратегија	10. Пројектовање без токсичних материјала
Циљ	Ова стратегија има за циљ спречавање употребе материјала који имају негативан утицај на животну средину који се не односи само на емисије угљен-диоксида, већ и на загађење ваздуха, земљишта и воде. Фокусира се на категорије утицаја на животну средину обухваћене међународним ЛЦА стандардима. Поред тога, ова стратегија има за циљ спречавање употребе материјала који имају негативан утицај на здравље корисника зграда. Материјали који представљају потенцијални ризик по људско здравље вероватно ће спречити поновну употребу грађевинских структура и компоненти у будућности, чиме се онемогућава њихов циркуларни потенцијал.
Примена	10.1 Праћење свих утицаја на загађење животне средину 10.2 Избегавање употребе токсичних материјала 10.3 Смањење употребе машина чији рад подразумева употребу фосилних горива 10.4 Избегавање употребе штетних материјала у инсталационим системима објекта 10.5 Избегавање употребе токсичних материјала за делове објекта са којима људи имају директан контакт 10.6 Редуковати токсичне материјале у постојећим објектима

Circular Buildings Toolkit нуди свеобухватни преглед стратегија циркуларне економије које се могу применити у архитектури, и коришћен је као главна смерница у даљем току истраживања. Представљене стратегије обједињују све претходно објашњене принципе и стратегије циркуларне економије из научних истраживања.

4. МЕТОДОЛОШКИ ПОСТУПАК ОПТИМИЗАЦИЈЕ ФАСАДНИХ ОМОТАЧА ПРИМЕНОМ ПРИНЦИПА И СТРАТЕГИЈА ЦИРКУЛАРНЕ ЕКОНОМИЈЕ

4.1 МЕТОДОЛОГИЈА ОПТИМИЗАЦИЈЕ ФАСАДА ВИСОКИХ ОБЈЕКТА

Комплексност концепта циркуларне економије и његова ограничена примена у архитектури, условљава формирање специфичног методолошког поступка у односу на предмет овог истраживања. Претходна анализа литературе фасадних омотача високих објеката и примене стратегија циркуларне економије у архитектури, усмерила је на развој методологије чији је шири циљ јединствено повезивање ове две велике теме, какво до сада није било доступно у страном или домаћој литератури.

У односу на циљеве истраживања, који се односи на процену утицаја примене стратегија циркуларне економије на оптимизацију фасада високих објеката, одређен је методолошки поступак који подразумева следеће кораке:

- дефинисање основних модела фасада као полазних тачака истраживања, ради утврђивања могућности оптимизације, као и квантификацију резултата остварених применом принципа и стратегија циркуларне економије;
- Истраживање потенцијала и ограничења примене стратегија циркуларне економије на одабране фасадне омотаче у односу на њихове специфичности;
- Прикупљање информација о актуелном развоју фасадних производа са аспекта ЦЕ кроз истраживање тржишта и интервјуе са представницима фасадних произвођача;
- Систематизација података о уграђеним материјалима, животном веку, могућностима монтаже и утицајима дефинисаних фасадних система на животну средину;
- Дефинисање индикатора којима се квантификују утицаји примењених стратегија ЦЕ у циљу оптимизације фасада;
- Прикупљање података који се користе у нумеричким прорачунима;
- Прорачун свих индикатора за основне моделе и систематизација добијених резултата;
- Нумерички прорачун оптимизованих модела у односу на примену стратегија ЦЕ на нивоу материјала, елемената, компоненти и фасадног система;
- Упоредна анализа резултата основних и оптимизованих модела и извођење закључака о утицају примењених принципа и стратегија циркуларне економије.

Иако је конкретно истраживање оријентисано ка оптимизацији фасадних омотача високих објеката, ова методологија се може користити као смерница за развијање сличних поступака за анализу и примену циркуларне економије у пројектовању зграда.

4.2 ДЕФИНИСАЊЕ ОСНОВНИХ МОДЕЛА ФАСАДА

Систематизација сазнања о савременој архитектонској пракси фасадних омотача високих објеката, приказана у Поглављу 2, коришћена је као основ за формирање основних модела који се користе као полазне тачке у даљем истраживању. Дефинисање основних модела извршено је на основу:

- Претходне анализе савремених фасадних омотача високих објеката у Европи и Србији;
- Анализе фасадних система високих објеката у Београду са аспекта уграђених материјала, термичких карактеристика и димензија фасадних поља;
- Основних захтева за омотаче типа елемент зид-завесе који се односе на оптималне димензије фасадних поља и њихову тежину;
- Мера прописаних у *Правилнику о техничким нормативима за заштиту високих објеката од пожара*.

На основу анализе фасадних омотача високих објеката у Европи и Србији, дефинисана су два основна модела – А и В, која су као стандардна решења, уз мање варијације, најзаступљенија у тренутној пракси:

- **Основни модел МА** - потпуно застакљена фасада типа структуралне елемент зид завесе;
- **Основни модел МВ** - фасадни омотач типа елемент зид-завесе са видним покривним капама, у коме је присутна комбинација транспарентних застакљених површина и нетранспарентних изолационих панела.

Након првог корака у дефинисању основних модела, за одређивање осталих карактеристика уследила је додатна анализа фасада високих објеката у Београду. У циљу одабира фасадних система, одређивања димензија фасадних поља и примењених материјала за основне моделе, детаљније су истражени фасадни омотачи објеката Ушће 2 и West 65. Примери су одабрани као најрелевантнији с обзиром на скорорију годину изградње и у односу на постављене основне моделе. Како су на овим високим објектима, као и већини других у Београду, примењени фасадни системи произвођача *Schüco*, за основне и оптимизоване моделе одабрана је фасада истог произвођача.³⁸

За фасадни омотач хипотетичког објекта у овом истраживању узима се систем AF UDC 80 који представља најсавременију елемент зид завесу овог произвођача.³⁹ Он представља унапређену верзију фасадног система USC 65 (примењен на објекту Ушће 2) и USC 80 (примењен на објекту Вест 65). За основни модел А користи се систем структуралне зид завесе AF UDC 80 SG, са значајно унапређеним термичким својствима у односу на фасаду USC 65. Код основног модела В примењен је систем AF UDC 80.HI.

³⁸ Поред одабраног система анализирани су и елемент зид завесе произвођача *Alumil* (Smartia M78), *Reynaers* (ElementFaçade 7, ConceptWall 86-EF) и *Wicona* (Wictec 50 EL, Wictec EL 60, Wictec EL evo), али је на основу заступљености на већини високих објеката у Београду одабрана фасада произвођача *Schüco*.

³⁹ Фасадни системи су одабрани на основу консултација са представништвима произвођача *Schüco* у Србији и Немачкој. Кроз даљу сарадњу одређени су сви подаци који се користе током истраживања, а који се односе на детаље фасадних склопова и њихових компоненти, димензије фасадних поља и алуминијумских профила, тежину и начин ношења стакла, као и врсту и количину уграђених материјала.

чија је највећа предност, у односу на претходни, могућност остваривања занимљивијих решења на основу више могућности завршне обраде материјала, употребе декоративних елемената, пројектовања ортогоналних и косих фасадних поља као и комбиновање са другим системима истог произвођача. Такође овај систем поседује бронзани сертификат „од колевке до колевке“, који га чини оптималнијим са становишта демонтаже и одвајања материјала на крају животног века. Детаљни приказ карактеристика фасадних система основних модела А и В, доступан је у Прилогу 3.

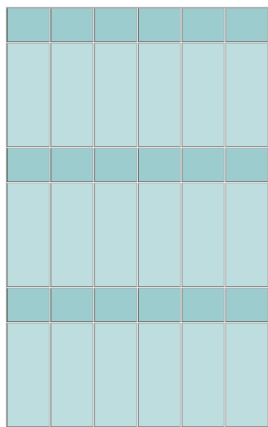
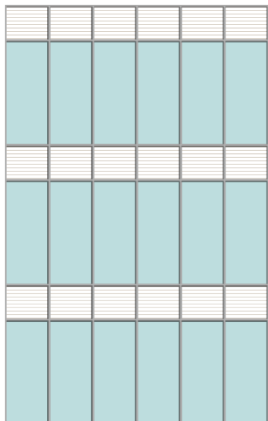
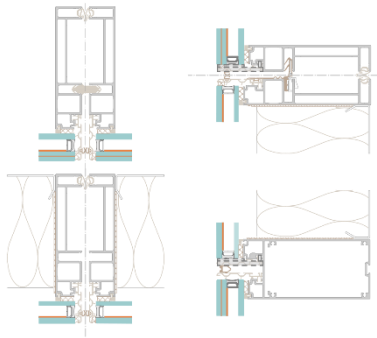
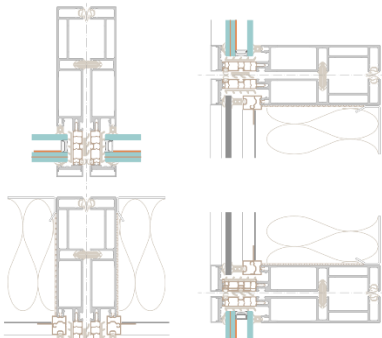
Истраживање фасада високих објеката, као и детаљнија анализа објеката Ушће 2 и Вест 65, условила је и одређивање димензија фасадних поља основних модела као и материјале у склопу фасадних система. Фасадни елементи на високом објекту Ушће 2 су укупне висине 4,40 m, од чега је транспарентно поље висине 3,00 m, док је нетранспарентни део у нивоу таванице висине 1,40 m. Нетранспарентно поље се заправо састоји из три дела, горњег и доњег дела висине по 0,40 m са ламелама које омогућавају вентилацију у нивоу пода или спуштеног плафона, и средишњег дела висине 0,60 m. Вертикални прекид са негоривом изолационом испуном изведен је у висини од 1,00 m. Ширина фасадних елемената варира од 1,10 m до 1,50 m, у зависности од смењивања транспарентних поља и поља испуне која су постављена на сваком другом елементу у ширини од 0,40 m. Фасадни елементи код објекта Вест 65 су укупне висине 3,74 m и ширине око 1,40 m. Висина противпожарног вертикалног прекида и поља испуне је 1,09 m, док су транспарентна поља висине 2,64 m, где се издвајају и прозори висине 1,30 m. Ширина транспарентних поља је у зависности од оријентације фасаде 1,36 или 1,43 m, док је ширина вертикалних нетранспарентних поља 1,40 m.

Поред тога основни модели фасадних омотача дефинисани су на основу општих карактеристика које се односе на прописане димензије и тежину фасадних поља елемент зид завеса, изведене на основу упутстава за примену одабраних фасадних система. Оптимална ширина фасадног поља код елемент конструкција је 1,4 до 2,00 m, а оптимална висина износи 2,00 до 3,50 m. Максимална дозвољена ширина фасадног поља код одабраних елемент фасада је 3,00 m док је максимална висина 4,00 m.

Димензија фасадних поља одређује се и на основу тога да ли су она фиксна или се отварају, типа и тежине стакла, узимајући у обзир да је оптимална тежина фасадног поља 250 килограма, а максимална дозвољена 1.000 килограма.

Систематизацијом претходно изнетих података дефинисане су димензије фасадних поља основних модела А и В. Као основни елемент зид завесе дефинисано је фасадно поље ширине 1.25 метара и висине 4 метра, за оба модела. Ови елементи су по вертикали додатно подељен у два поља, транспарентно поље висине 3 метра и поље испуне висине 1 метар. Завршна облога поља испуне код основног модела А је стакло, а код модела В алуминијумски панел (Табела 6). Оба модела се испитују на фасадним сегментима ширине 7.5 метара и висине 12 метара, у оквиру којих се налази укупно 18 елемената зид завесе. Димензије фасадног сегмента одређене су на основу конструктивног растера и висине између таваница претпостављеног хипотетичког високог објекта који се користи у даљим нумеричким прорачунима.

Табела 6. Упоредни приказ дефинисаних фасадних сегмената основних модела МА и МВ (Аутор)

Заједничке карактеристике	Основни модели фасадних сегмената МА и МВ	
Фасадни сегмент	Димензије: ширина 7,50 и висина 12,00 метара	
Елементи зид-завесе	18 елемената димензија 1,25 x 4,00m	
Транспарентна поља	18 поља (1,25 x 3,00m), двоструки термоизолациони стаклени пакет	
Специфичне карактеристике	МА	МВ
Фасадни систем	AF UDC 80 SG	AF UDC 80.HI
Поља испуне	18 поља (1,25 x 1,00 m), спољни слој двоструки термоизолациони стаклени пакет	18 поља (1,25 x 1,00 m), спољни слој алуминијумски панел
Изглед сегмента		
Детаљи система		

Одређивање основних модела фасадног сегмента је изведено у складу са *Правилником о техничким нормативима за заштиту високих објеката од пожара* према коме се при пројектовању фасадних омотача високих објеката у обзир морају узети димензије и материјализација фасадних поља у циљу спречавања преношења пожара између етажа и пожарних сектора.⁴⁰

⁴⁰ На основу *Правилника о техничким нормативима за заштиту високих објеката од пожара* приликом пројектовања фасадних омотача високих објеката неопходно је узети у обзир следеће податке преузете из Члана 17, 18 и 22 (Службени гласник РС. бр. 80/2015, 67/2017 и 103/2018):

- Фасадни зид објекта мора бити изведен тако да се спречи пут пламена између две суседне етаже извођењем вертикалног грађевинског елемента чија је отпорност према пожару 1,5 h (EI 90), испитан према посебном стандарду за спољне зидове односно зид завесе. Висина вертикалног грађевинског елемента који раздваја етаже мора бити дужине најмање 1 m, или дужине најмање 1,4m коју чини збир вертикалних и хоризонталних делова.

У наставку истраживања ће бити анализирани и друге карактеристике основних модела, релевантне у процесу оптимизације фасадних сегмената са становишта циркуларне економије. То захтева детаљније одређивање њихових карактеристика које се односе на елементе и компоненте од којих су фасадни системи сачињени, њихов животни век, међусобну повезаност и могућност демонтаже, порекло, и количине уграђених материјала, као и сценарије њиховог могућег коришћења на крају животног циклуса.

4.3 ФАСАДНИ ОМОТАЧИ СА СТАНОВИШТА ЦИРКУЛАРНЕ ЕКОНОМИЈЕ

У односу на високе стандарде које мора да испуни, фасадни омотач није систем објекта који је толико флексибилан да би се лако прилагодио концепту циркуларне економије, због чега постоје бројне препреке за њихову оптимизацију. Фасаде представљају сложене структуре које морају да испуне велики број захтева и које су због своје комплексности под утицајем различитих инжењерских дисциплина, производних ланаца и система вредности.

Омогућавање циркуларног потенцијала било ког производа, па и фасада, зависи од развоја бизнис модела који су оријентисани на дугорочно праћење производа и размену информација, од процеса производње до фазе рушења. За фасадне омотаче прву препреку у затварању циклуса, односно враћању сировина у производни процес, представља проблем власништва. С обзиром да се ради о производу чији је животни век минимум 25 година, поставља се питање чија је одговорност демонтаже на крају животног циклуса, као и ко добија економске бенефите од ње.

Научна истраживања која се баве концептом изнајмљивања фасаде као услуге односно сервиса подразумевају промену традиционалног модела власништва над производом, али и одговорности актера и сарадње током планирања (Azcarate-Aguerre, Klein, Konstantinou, & Veerman, 2022; Kragh & Jakica, 2022). Ово захтева промене на технолошком нивоу, али у већој мери промену постојећих пословних модела у фасадној индустрији. Један од предложених модела је изнајмљивање фасада као услуга, где он припада фирми која га је произвела (Coalition Circular Accounting, 2020). Произвођач је одговоран за његово одржавање и обнову, али и за демонтажу на крају животног циклуса и искоришћавање уграђених компоненти и материјала.

На овај начин произвођач је стимулисан да уведе иновације у технолошки процес производње и редовно одржавање како би на крају могао да поврати уложену вредност. За њега је тај фасадни омотач истовремено и улагање у омогућавање повратка искоришћених сировина у будућности. У овом случају су стандардизација и модуларност

-
- Хоризонтално ширење пожара на фасади на граници пожарног сектора спречава се хоризонталним прекидним растојањем, тако што се на месту сучељавања изводи део фасадног зида, у укупној ширини од минимум 1 m, исте отпорности према пожару као и унутрашњи пожарни зид са којим се сучељава, испитан према посебном стандарду за спољне зидове односно зид завесе.
 - У саставу зид завесе морају се применити грађевински производи најмање карактеристике реакције на пожар А2 према SRPS EN 13501-1, осим елемената за заптивање који морају имати карактеристике реакције на пожар најмање класе Е. Топлотно изолациони слој објекта преко кога се поставља зид завеса мора бити најмање карактеристике реакције на пожар класе А1 према SRPS EN 13501-1.

елемената од великог значаја, јер то повећава могућност поновне употребе, док избор материјала игра главну улогу у обезбеђивању потенцијала за рециклажу. Уколико је фасадни омотач планиран у циљу економских бенефита кроз повратак сировина на крају животног циклуса, неопходне су промене примењених пословних модела и сарадња актера како би се обезбедило одржавање вредности производа.

Примена циркуларне економије у фасадној индустрији би могла да доведе до промена у сарадњи актера и размени информација у фасадној индустрији. У истраживању праћења тока информација током животног века једног фасадног система, аутори чланка *Giovanardi, Konstantinou, Pollo u Klein*, указују на то да је за остваривање циркуларног потенцијала уграђених производа неопходно бележење података и дељење информација у дигиталном облику.⁴¹ То је оствариво кроз употпуњавање БИМ модела информацијама о техничким карактеристикама, перформансама и димензијама уграђених производа, као подацима о целокупном животном циклусу и утицајима на животну средину сваког материјала. Овде би корист могло да има и издавање пасоша материјала (Honic, Kovacic, & Rechberger, 2019; Giovanardi, Konstantinou, Pollo, & Klein, 2023), са детаљним приказом података о уграђеним материјалима, очекиван животно век и сценарио употребе након демонтаже.

Међутим, поред исправне размене информација, примена циркуларне економије на фасаде захтева и преузимање различитих додатних одговорности појединачних актера попут пројектаната, инвеститора и произвођача. У истраживању које се бави изазовима који се постављају пред оптимизацију фасада са становишта циркуларне економије, аутори *Hartwell, Macmillan u Overend* наводе да за инвеститора највеће препреке неинформисаност и забринутост за економску исплативост, док архитекте истичу изазов недостатака знања и доступности података, уз забринутост за ограничавање естетских карактеристика фасаде.⁴²

Произвођачи највећи изазов виде у недостатку информација које се односе на сертификацију, поновну употребу материјала, ланац снабдевања и немогућност контроле информација током целог процеса производње и употребе (Hartwell, Macmillan, & Overend, 2021). У овом истраживању су установљени и појединачни и заједнички изазови имплементације принципа циркуларне економије у дизајн фасадних система. Аутори су идентификовали три кључне стратегије које се могу применити у пројектовању фасада како би омогућили повратак сировина у производни процес:

- имплементација сценарија за искоришћавање сировина већ у почетној фази пројектовања,
- повећавање употребе материјала произведених са већим уделом поновно употребљених сировина,
- оптимизација процеса њиховог повратка као сировина у производни процес.

⁴¹ Giovanardi, M., Konstantinou, T., Pollo, R., & Klein, T. (2023). Internet of Things for building façade traceability: A theoretical framework to enable circular economy through life-cycle information flows. *Journal of Cleaner Production*, 382.

⁴² Hartwell, R., Macmillan, S., & Overend, M. (2021). Circular economy of façades: Real-world challenges and opportunities. *Resources, Conservation & Recycling*, 175, стр. 9-10.

С обзиром на комплексност фасадних омотача и броја различитих материјала од којих се састоје, њихова производња је повезана са потрошњом велике количине необновљивих ресурса и значајном количином отпада који настаје на лицу места приликом њихове демонтаже или рушења. Дугорочна перформанса фасадних омотача зависна је од квалитета материјала који их чине али и веза великог броја компоненти, које није могуће лако демонтирати и прилагодити током животног циклуса што представља један од највећих изазова за њихово приближавање току циркуларне економије (Binow Bitar, Bergmans, & Ritzen, 2022; Kragh & Jakica, 2022).

Процес демонтаже фасаде подразумева велики број оштећења чиме опада функционалност компоненти, док је присутна и деградација вредности материјала уколико су спојени хемијским везама (Binow Bitar, Bergmans, & Ritzen, 2022). Само мали део материјала који су спојени сувим везама, може се раставити без оштећења и поново искористити или рециклирати. Због овога највећи део материјала фасадних омотача најчешће завршава на депонији, без могућности поновне употребе. Да би се оствариле могућности поновног коришћења самих материјала, демонтажа би требало да буде узета у обзир на самом почетку процеса планирања фасада (Kragh & Jakica, 2022). Везе између компоненти би требало да буду такве да омогућавају несметано одвајање једних од других, како потенцијал поновног коришћења оних код којих је то могуће не би био угрожен или смањен.

Међутим, пројектовање и производња енергетски ефикасних фасада високих перформанси најчешће захтева много више компоненти и материјала због чега је њена демонтажа на крају животног циклуса врло компликована. Застакљивање са интегрисаним електричним системима за засенчење или имплементација фотонапонских ћелија, иако доприносе свеукупном балансу потрошње енергије током употребне фазе, представљају изазов у циркуларној економији, јер су проблематични за одржавање и замену и онемогућавају демонтажу или рециклажу стакла (Hartwell & Overend, 2020). Додатни изазов у примени дизајна за демонтажу је такође не постојање квантификационог система који омогућава процену његове учинковитости.

Циркуларна економија подразумева елиминацију или планирање искоришћавања могућег отпада (Baker-Brown, 2017; Hillebrandt, Riegler-Floors, Rosen, & Seggewies, 2018). Велику препреку у одабиру производа који имају циркуларни потенцијал тренутно представља цена која може бити значајно виша у односу на стандардне производе. Претпоставља се да ће пројектанти радије одабрати производ који може једноставно да се рециклира на крају животног века, чак и када он није сасвим одржив, у односу на онај који је произведен на одржив начин, али се на крају не може рециклирати нити било како поново искористити (Berge, 2009).

Истраживања показују да се замена фасада најчешће врши из естетских разлога као и побољшања енергетских перформанси (Hartwell, Macmillan, & Overend, 2021). Замена фасадног омотача неопходна је на сваких 20 до 30 година, како би његове перформансе одговориле савременим стандардима који се константно унапређују у зависности од климатских промена. Са аспекта одржавања и замене зид завесе су као самосталне структуре, у потпуности одвојене од примарне конструкције, повољније од масивних

носећих фасада.⁴³ Међутим, прилагодљивост зид завеса зависи од специфичности склопа, могућности трансформације целог система или његових делова (Kragh & Jakica, 2022). Неусклађености у животном веку зграде и појединачних система, компоненти, производа и материјала су уобичајени и често резултирају рушењем или заменом ширег обима него што је потребно. Ово се може избећи навођењем материјала који задовољавају животни век зграде или пројектовањем које омогућава минимално инвазионе технике за одржавање, тестирање и замену појединачних компоненти или производа који имају краћи век трајања.

Концепт циркуларне економије обухвата и неке до сада већ познате и стандардно примењиване принципе у пројектовању фасадних омотача, попут префабрикације и пројектовање у односу на модуларне димензије. Процес префабрикације даје могућности за уштеду велике количине материјала, и истовремено може бити економски исплативији (Berge, 2009). Производња и састављање фасадних компоненти у контролисаним условима смањује производњу отпада, јер се омогућава одржавање вредности материјала који се одбацује током процеса производње и омогућава његова рециклажа (Memari, 2013). Дизајн фасаде који се заснива се на модуларној координацији и стандардизацији веза, подразумева прилагођавање омотача унапред дефинисаним решењима која су са становишта употребљене количине материјала ефикаснија у односу на специјално пројектоване фасаде.

Стратегије фирме АРУП (приказаних у Поглављу 3) указује да је за пројектовање фасадних омотача са становишта циркуларне економије, сагледати их у односу на цео објекат како би њихов дизајн подржао могућност мултифункционалног коришћења простора. Поред тога треба им приступити као појединачним системима који треба да буду оптимизовани са становишта дуговечности, демонтаже и уграђених материјала. Такође стратегије указују на значај праћења уграђене енергије и животног циклуса фасадних омотача, и компјутерске симулације у циљу покушаја смањења негативних утицаја на животну средину.

Анализа литературе показује да фасадна индустрија тренутно није на добром путу ка остваривању заједничког циља да грађевинска индустрија до 2050. године буде у потпуности циркуларна. У највећем броју истраживања се претпоставља да највећи потенцијал за оптимизацију фасадних омотача у циркуларној економији има дизајн за демонтажу, усклађивање животног века уграђених елемената, употреба материјала чији процес производње подразумева већи удео секундарних сировина, као и оптимизацију поновне употребе и рециклаже материјала и компоненти на крају животног циклуса (Hartwell & Overend, 2020; Kragh & Jakica, 2022).

Закључује се да се фасадни омотачи због своје комплексности морају посматрати кроз неколико аспеката како би се разумела потенцијална примена стратегија и принципа циркуларне економије у циљу њихове оптимизације. За оптимизацију је неопходан свеобухватни приступ који подразумева истовремено испитивање различитих делова и функција овог система. Када у овом контексту посматрамо фасаде високих објеката

⁴³ Kragh, M., & Jakica, N. (2022). Circular economy in facades. У E. Gasparri, A. Brambilla, G. Lobaccaro, F. Goia, A. Andaloro, & A. Sangiorgio, *Rethinking Building Skins: Transformative Technologies and Research Trajectories* (519-539). Woodhead Publishing, Series in Civil and Structural Engineering, стр. 523.

закључује се да је за њихово пројектовање у складу са начелима циркуларне економије потребно обратити пажњу на одабир материјала, међусобне везе свих елемената и могућност њихове демонтаже, предвиђени животни век материјала и елемената, уграђене количине материјала и могућност њихове редукције, број компонената и димензије фасадних поља, начине одржавања и замене фасаде, као и сценарије искоришћавања уграђених материјала на крају животног циклуса фасадног омотача.

Анализа претходних истраживања указује на два правца испитивања примене принципа циркуларне економије на фасадне омотаче. Први правац подразумева истраживање развоја бизнис модела и улоге различитих актера укључених у пројектовање, производњу, употребу и демонтажу фасадних омотача. Други правац се односи на могућности примене стратегија циркуларне економије у циљу оптимизације фасада током процеса планирања. У наставку овог истраживања ће у односу на предмет рада, акценат бити на другом правцу, односно примени принципа и стратегија циркуларне економије у циљу оптимизације фасадних омотача са аспекта архитектонског планирања.

4.4 ИСТРАЖИВАЊЕ МОГУЋНОСТИ ОПТИМИЗАЦИЈЕ ОСНОВНИХ МОДЕЛА ФАСАДА

Самом процесу утврђивања могућности оптимизације дефинисаних фасадних система претходило је прикупљање података о тренутном стању на тржишту и остваривању напретка у њиховом развоју у складу са концептом циркуларне економије. Поступак прикупљања података састојао се из корака приказаних на Слици 7.



Слика 7. Приказ процеса прикупљања података релевантних за утврђивање могућности оптимизације фасада са становишта циркуларне економије (Аутор)

Како би се разумели потенцијали примене циркуларне економије у циљу оптимизације неопходно је прво сагледати тренутну праксу, односно карактеристике производа и материјала који се стандардно користе у фасадним омотачима високих објеката. У односу на посматране стандардне материјале и производе у елемент зид завесама, анализирани су информације о њиховом актуелном развоју и унапређењу у погледу употребљених материјала, потрошње примарних и секундарних извора, третирања на крају животног века, утицајима на емисије штетних гасова, процеса производње као и развојима целокупних система са аспекта међусобних веза компоненти.

4.4.1 Анализа актуелног развоја фасадних производа у односу на концепт ЦЕ

Иако је за основне моделе фасадних омотача одабрана елемент зид завеса произвођача *Schüco*, анализирани су и други фасадни произвођачи у циљу схватања развоја тржишта и иновација у складу са концептом циркуларне економије. Фасадни систем типа елемент зид завесе широко је распрострањен и доступан како на територији Србије, тако и у Европи. За прикупљање података анализирани су фасаде произвођача *Alumil*, *Reynaers* и *Wicona*, док су за појединачне производе додатно анализирани алуминијумски профили произвођача *Hydro*, стаклени панели произвођача *Guardian*, и *Saint-Gobain*, изолациони материјали произвођача *Knauf* и *Rockwool*. На основу података доступних на веб-сајтовима наведених произвођача, изведени су закључци о постојећим фасадним производима и њиховом развоју у складу са концептом циркуларне економије.

Допринос циркуларној економији најчешће је изражен кроз поседовање сертификата од „колевке до колевке“ или применом материјала са редукованом емисијом угљен-диоксида. Код произвођача *Alumil* и *Reynaers* примећено је поседовање сертификата од „колевке до колевке“, али је даљи развој система који превазилази стандардну употребу материјала и начина монтаже ограничен. Ово је нарочито приметно у алуминијуму који се уграђује у производе ових фирми и односи се на употребу чак 60% примарних сировина и само 40% рециклираних, што је далеко испод просека других фирми.

Значајнији осврт на циркуларну економију примећен је код произвођача *Schüco* и *Wicona*, који имају своје стратегије оптимизације производње фасада у циљу приближавања концепту циркуларне економије. Произвођач *Schüco* уводи иновације у производњи алуминијума уз фокус на потпуној елиминацији употребе примарних сировина, као и оптимизацију процеса производње фасадних профила. У иновацији целокупних фасадних система у складу са ЦЕ ипак највећи допринос остварује *Wicona*, не само у примени материјала већ и у пројектовању фасадних система применом стратегије дизајна за демонтажу. Произвођач *Wicona*, у сарадњи са произвођачем алуминијумских профила *Hydro* и произвођачем стакла *Saint-Gobain*, тренутно остварује највећи напредак у смањивању емисије CO₂ у фасадној индустрији. Наиме ови произвођачи су се удружили у производњи фасадног система који подразумева употребу алуминијума који не садржи примарне сировине и стакла које је делимично састављено од рециклираних сировина. Иако се и даље ради о мањој оптимизацији сировина од којих се производе стаклени панели, уз употребу обновљивих ресурса у производњи, ово је

тренутно најоптималнији производ доступан на тржишту. У односу на стакло произвођача *Guardian, low carbon* стаклени панели *Saint-Gobain* имају знатно мање негативне утицаје на животну средину током целог животног циклуса, а нарочито у фази производње.

Истраживање напретка у развоју изолационих материјала, конкретно минералне вуне која се уграђује у поља испуне елемент зид завеса, указало је на мали напредак иако се ради о природном материјалу чији је животни век у односу на друге компоненте знатно дужи. Најшире заступљен произвођач изолационих материјала у Србији је *Knauf* који је тек најавио иницијативе за приближавање својих производа концепту ЦЕ, без конкретне примене у пракси. Са друге стране произвођач *Rockwool*, који је изузетно заступљен на Европском нивоу, почео је са конкретним спровођењем праксе, оптимизујући потрошњу сировина у процесу производње што је допринело до 50% смањења укупне емисије CO₂ његових производа.

Спроведена анализа тренутног развоја фасадних производа указала је на произвођаче који уводе иновације мотивисани концептом циркуларне економије, због чега су за даљи контакт у циљу прикупљања података контактирана представништва фирми *Schüco, Wicona, Hydro, Rockwool* и *Saint-Gobain*.

4.4.2 Прикупљање података од произвођача

За потребе истраживања контактирана су представништва одабраних произвођача у Србији и Европи, при чему је већи број података прикупљен од представника у иностранству, с обзиром да се тренутно већина иновација и истраживања примене циркуларне економије спровode у земљама ЕУ. Ипак, ради се о произвођачима чији су производи доступни и у Србији, због чега се претпоставља да ће, након шире примене циркуларних материјала и производа у Европи, они у будућности бити доступни и у нашој земљи.

Највише информација, релевантних за схватање тренутних проблема у примени циркуларне економије у фасадној индустрији, прикупљено је током интервјуа са Ларсом Кнонером (*Lars Knöner*), директором одрживог саветовања, произвођача фасада *Schüco International KG*.⁴⁴ Саговорник је првенствено указао на значај сарадње архитеката и фасадних консултаната у раној фази пројектовања, а затим истакао неколико проблема са којима се произвођачи фасада тренутно суочавају, а подразумевају:

- немогућност оптимизације свих материјала у склопу фасаде,
- недовољна транспарентност података за прорачуне,
- неусклађеност стандарда и
- непостојање јединственог мерљивог индикатора циркуларног потенцијала производа.

Посебну препреку у широј примени принципа одрживости и циркуларне економије представља чињеница да се, према искуству саговорника, архитекти тек у касној фази пројектовања или тендера обраћају фасадним консултантима и произвођачима. На тај

⁴⁴ Интервју обављен 24.05.2023 године, саговорник Ларс Кнонер, директор одрживог саветовања произвођача *Schüco (Lars Knöner, Head of Sustainability Consulting - Schüco International KG)*.

начин је потенцијал оптимизације знатно смањен, с обзиром да се највећи бенефити могу остварити у почетној фази пројектовања. Уколико се фасадни консултанци укључују на самом крају пројектовања, једино што у том тренутку може минимално да се оптимизује су поједини материјали који ће се употребити за израду фасадног омотача. На основу истраживања које је фирма *Schüco* спровела, кроз разговор са архитектима са којима сарађује, закључено је да актуелна архитектонска пракса не тежи смањењу емисија штетних гасова у почетној фази пројектовања, већ тек у фази тендера, док шира примена циркуларне економије и одрживе употребе ресурса још увек није заступљена. У циљу сарадње са архитектима на смањењу укупне емисије CO₂ произведен је софтвер *Schüco Carbon Control*, који омогућава брзе прорачун емисије CO₂ фасадних омотача на основу дефинисања фасадног система и жељеним естетским карактеристикама фасаде. Софтвер преузима податке о форми објекта из БИМ модела, на основу чега се детектују могућности оптимизације током фаза планирања и коришћења објекта.

Након разговора са представником фасадног произвођача *Wicona* добијене су информације о актуелном развоју зид завеса са аспекта циркуларне економије, који се у конкретном случају у највећој мери базира на употреби оптимизованих алуминијумских профила. У сарадњи са произвођачем алуминијума *Hydro*, *Wicona* је развила стратегију за потпуну елиминацију употребе алуминијума који садржи чак и минималан удео примарних сировина. Представник ових фирми, уједно и саветник архитеката у пројектовању фасада, истакао је информацију да за све нове пројекте одмах предлажу профили направљени од комбинације две врсте алуминијума: првог рециклираног током процеса производње и другог рециклираног након животног века у другим објектима.⁴⁵ Наиме, тренутно се за све *Wicona* фасаде типа елемент зид завесе користио алуминијум који садржи 99% сировине која је скупљена као отпад у фабрици током процеса производње фасадних профила и само 1% примарних сировина.

Иако је ова врста алуминијумских профила већ значајно унапређена у односу на многе који се користе у појединим земљама Европе где стопа рециклаже није висока, као у Србији, у развијенијим земљама она се сматра превазиђеном. Циљ произвођача *Wicona* је да се у што краћем временском периоду пређе на употребу алуминијумских профила произведених искључиво рециклажом сировина које су враћене у процес производње након претходно испуњеног животног циклуса у другим фасадама.

Део зид завеса који је најнеповољнији са циркуларне економије су изоловани стаклени панели. За прикупљање информација о стаклу контактиран је произвођач *Saint-Gobain*, који је развио равно стакло са најнижом стопом емисије CO₂ на тржишту. То је постигнуто повећањем удела рециклираних сировина у процесу производње у односу на претходне производе, али и значајним унапређењем самог процеса производње у фабрикама употребом енергије добијене из обновљивих извора.⁴⁶ Прикупљене информације о развоју производа од минералне вуне, указале су да се оптимизација остварује једино повећавањем коришћења рециклираних сировина, иако је ово материјал

⁴⁵ Подаци добијени током разговора са Хелмутом Бауером заступником за *Wicona* фасаде (*Helmut Bauer, Hydro Building Systems Germany GmbH*), 08.06.2023.

⁴⁶ Подаци добијени од Сузане Рајхарт, саветником за архитектонско пројектовање произвођача *Saint-Gobain* (*Susanne Reichert, Saint-Gobain Building Glass Deutschland*), 21.07.2023. године.

који у односу на своје порекло и животни век, има значајно већи потенцијал са аспекта циркуларне економије.

Систематизацијом података добијених из интервјуа и након консултације са саговорницима о конкретном предмету истраживања ове докторске дисертације, одабрани су производи који ће се користити као основа прорачуна у даљем току истраживања. Такође, од саговорника су добијене специфичне декларације производа за животну средину за сваки производ односно компоненту која је саставни део основних и оптимизованих модела испитиваних фасадних омотача високих објеката.

4.4.3 Декларације производа за животну средину

Декларације производа за животну средину (енг. *EPD - Environmental Product Declaration*) користе методу процене животног циклуса за квантификацију и саопштавање утицаја производа или склопова на животну средину током њиховог целокупног животног века. Верификација декларација заснива се на међународним стандардима према којима су дефинисане основне категорије утицаја на животну средину и дате смернице за нумеричке прорачуне. Међународни стандард и систем верификације резултата осигурава да све декларације приказују објективне и веродостојне резултате у стандардизованом формату. Декларације омогућавају заинтересованим корисницима да се информишу о свим фазама животног циклуса производа како би одабрали онај који има најмање негативних утицаја. Са друге стране декларације омогућавају произвођачима да упореде своје производе са конкуренцијом и евентуално унапреде процесе у којима је могућа оптимизација негативних утицаја на животну средину. *EPD* се користе у великом броју стандарда одрживе градње као и системима сертификације као што су *LEED* и *BREEAM*.

Постојање декларација о одређеном производу не гарантује да он има мали утицај на животну средину већ да произвођач реално и транспарентно показује карактеристике свог производа и даје могућност упоређивања са конкуренцијом. Приликом сваке промене производа или производног процеса декларација мора да се промени и прође поновну верификацију. Верификација се врши од стране неутралног програмског оператера и њено важење је ограничено на 5 година. Резиме утицаја производа на животну средину подразумева све кораке од екстракције сировина, преко процеса производње, употребе да одлагања производ на крају животног века. Сваки *EPD* се састоји из два дела, јавног и приватног. У јавном делу документа су резимирани и табеларно приказани утицаји на животну средину који заинтересованим корисницима дају увид о производу. Приватни део се односи на извештај у коме је детаљно приказана позадина прорачуна и он је доступан само верификационим оператерима. Извештај који детаљно износи позадину прорачуна показује на који начин је спроведена процена животног циклуса, који параметри и претпоставке су коришћени и да ли су постојали ограничавајући фактори приликом прорачуна. Такође да би били верификовани *EPD* морају да буду у складу са интернационалним стандардима процене животног циклуса и правилима категорије производа (*Product Category Rules - PCR*).

Подаци о утицајима на животну средину су у оквиру *EPD* изражене преко информационих модула разврстаних према фазама животног циклуса:

- А1 до А3 - фаза производње;
- А4 и А5 - фаза уградње;
- Б1 до Б5 - фаза коришћења, замене и обнове грађевинских материјала;
- Б6 и Б7 - фаза коришћења грађевинског објекта;
- Ц1 до Ц4 - фаза завршетка животног циклуса;
- Д – фаза ван граница животног циклуса која се односи на могућност поновне употребе и рециклирања процењеног са становишта предности и недостатака.

У претходним верзијама стандарда обавезни су били модули А и Б, док је фаза Ц била опциона. Главна промена у новом стандарду подразумева обавезу обухвата модула Ц и Д, односно крај животне фазе производа и могућности рециклаже или поновне употребе. Додатно новим стандардом је уведена обавеза приказивања података о емисији биогеног угљеника (*Biogenic Carbon*). Под појмом биогеног угљеника унутар грађевинског производа сматра се негативна емисија угљеника у модулима А1-А3 и позитивном емисијом угљеника на крају животног века када се биогени угљеник емитује или преноси у следећи животни циклус производа. Стандард захтева и детаљнију дефиницију функционалних јединица ради лакшег поређења сличних производа. Стандардом су одређене информације које свака декларација производа за животну средину мора да садржи:

- Опште информације о производу, произвођачу, примењене стандарде за процену животног циклуса, податке о систему верификације и датум истека декларације.
- Детаљне информације о производу, његовој употреби, техничким стандардима које испуњава као и неопходним ресурсима за његову производњу.
- Податке о процени животног циклуса производа, приказ граница система односно обухваћених модула спроведеног *LCA* метода, процене и претпоставке података које није било могуће прорачунати због недостатка података о фази циклуса, детаљан приказ количине свих материјала од којих је производ сачињен.
- Главни део декларације је табеларни приказ свих појединачних индикатора утицаја на животну средину подељених у односу на све фазе животног циклуса.

Основна правила за Декларације производа за животну средину у грађевинском сектору дефинисана су европским стандардом EN 15804.⁴⁷ Стандард EN 15804+A1 је објављен 2012. године и допуњен EN 15804+A2 2019. године и који чија примена је обавезна у ЕУ од јула 2022. године. Стандардом EN 15804+A1 сваки EPD је показивао 11 индикатора утицаја на животну средину и 17 категорија извештавања о употреби

⁴⁷ *EPD* за грађевинске производе и објекте у Србији морају бити засновани на основном стандарду SRPS EN 15804:2016 и стандардима SRPS ISO 14025:2007 - Ознаке и декларације о заштити животне средине - Декларација о заштити животне средине типа III - Принципи и процедуре и SRPS ISO 14040:2008 - Управљање заштитом животне средине – Оцена животног циклуса – Принципи и оквири. Одржавање квалитета животне средине у Србији је регулисано кроз неколико закона и правилника на основу којих се врше стратешке процене утицаја на животну средину и обезбеђује њено очување. Стандарди Србије о животној средини усаглашени су са међународним стандардима ЕУ.

ресурса, коришћењу воде и производњи отпада. Стандард EN 15804+A2 захтева процену 13 индикатора утицаја и 6 додатних категорија извештавања о животној средини које нису обавезне у самом ЕПД али се морају приказати у ЛЦА извештају.

Индикатори утицаја на животну средину су у новом EN 15804+A2:2019 подељени у 4 групе које подразумевају утицаје на околину, потрошњу ресурса, категорије отпада и обраду на крају животног циклуса. Преглед свих индикатора приказан је у Табели 7.

Табела 7. Преглед индикатора утицаја на животну средину у оквиру EPD декларација према стандарду EN15804:2012+A2:2019

Назив	Ознака	Јединица
Индикатори утицаја на животну средину		
Климатске промене		
Потенцијал глобалног загревања - укупно	<i>GWP tot</i>	kg CO ₂ eq.
Потенцијал глобалног загревања - фосилно	<i>GWP f</i>	kg CO ₂ eq.
Потенцијал глобалног загревања - биогено	<i>GWP b</i>	kg CO ₂ eq.
Потенцијал глобалног загревања - коришћење земљишта	<i>GWP luc</i>	kg CO ₂ eq.
Потенцијал оштећења озонског омотача	<i>ODP</i>	kg CFC-11 eq.
Потенцијал ацидификације	<i>AP</i>	mol H ⁺ eq.
Потенцијал еутрофикације		
Слатка вода	<i>Epfr</i>	kg P eq.
Слана вода	<i>EPmar</i>	kg N eq.
Земљиште	<i>Epter</i>	Mol N eq.
Потенцијал формирања фото - хемијског озона, утицај на здравље људи	<i>POCP</i>	kg NMVOC eq.
Потрошња ресурса		
Минералних	<i>ADPe</i>	kg Sb eq.
Фосилних	<i>ADPf</i>	MJ
Потрошња воде	<i>WU</i>	m ³
Индикатори потрошње ресурса		
Потрошња обновљиве енергије	<i>PERE</i>	MJ
Обновљиви ресурси искоришћени као сировине	<i>PERM</i>	MJ
Укупна потрошња обновљивих извора енергије	<i>PERT</i>	MJ
Потрошња необновљиве енергије	<i>PENRE</i>	MJ
Необновљиви ресурси искоришћени као сировине	<i>PENRM</i>	MJ
Укупна потрошња необновљивих извора енергије	<i>PENRT</i>	MJ
Унос секундарног материјала	<i>SM</i>	kg
Потрошња обновљивих секундарних горива	<i>RSF</i>	MJ
Потрошња необновљивих секундарних горива	<i>NRSF</i>	MJ
Потрошња чисте воде	<i>FW</i>	m ³
Излазни токови		
Компоненте за поновну употребу	<i>CRU</i>	kg
Материјали за рециклажу	<i>MFR</i>	kg
Материјали за повратак енергије	<i>MER</i>	kg
Извезена електрична енергија	<i>EEE</i>	MJ
Извезена термална енергија	<i>EET</i>	MJ
Категорије отпада		
Количина одложеног штетног отпада	<i>HWD</i>	kg
Количина одложеног неопасног отпада	<i>NHWD</i>	kg
Количина одложеног радиоактивног отпада	<i>RWD</i>	kg

4.4.3.1 Анализа база података

Декларације производа за животну средину у грађевинској индустрију објављују се на различитим националним и интернационалним интернет платформама од стране организација верификованих за њихово одобрење. Не постоји јединствена односно централна база података која обухвата све грађевинске производе, као ни национална база података за Србију.

Прикупљање декларација засновало се на прегледу више интернационалних база података, од којих су неке јавно доступне на интернету, док су друге доступне у склопу софтвера који се користе за прорачун животног циклуса зграда. У односу на ово ограничење, истраживане су базе у којима се могу наћи подаци релевантни за Европски контекст, а укључују *International EPD System*, *Ökobaudat*, *Ecoinvent*, *Institut Bauen und Umwelt e. V.* и *2050-materials*.

Такође у оквиру одређених софтвера намењених прорачунима процене животног циклуса зграда доступне су уграђене базе података као нпр. у софтверима *One Click LCA*, *DesignBuilder*, *Open LCA* и *Madaster*. Базе података наведених софтвера су истражене кроз демо верзије наведених софтвера, док је за даље прорачуне у оквиру докторске дисертације као најкомпетентнији одабран софтвер у оквиру интернет платформе *Madaster*. Софтвер има сопствену базу података, све декларације доступне у бази података *Ökobaudat*, као и могућност додавања података из других декларација, као у овом случају свих декларација прибављених од произвођача.

4.4.3.2 Ограничења примене декларација за фасадне омотаче

За фасадне системе типа елемент зид-завеса доступне су бројне декларације производа у интернационалним базама података, али њихова примена има значајна ограничења и често води ка добијању нетачних резултата. Подаци о утицајима на животну средину одређеног фасадног система се најчешће изражавају кроз нумеричке вредности индикатора за функционалну јединицу од 1m² површине фасадног омотача. Ограничење оваквог прорачуна је у томе што се обухвата само мала површина омотача око угла једног фасадног поља, не узимајући у обзир његове целе димензије. Такође, у оквиру декларација се често претпостављају генерички подаци о стакленим панелима и заптивкама, док се нетранспарентне површине не узимају у обзир. Количине материјала варирају у зависности од естетских карактеристика омотача, што није могуће прорачунати на основу ограничених података наведених декларација. Такође, њиховом анализом није могуће установити појединачне утицаје уграђених елемената, нити испитати различити архитектонски концепти фасадног омотача.

Додатно ограничење је и то што у базама података често нису доступне најновије декларације. Према подацима добијених током интервјуа са представницима фирми фасадних произвођача, иза генеричких декларација често се крију нетранспарентно приказани подаци. Ово је често последица слободног избора улазних података од самог издавача декларације.

Подаци који се тичу циркуларног потенцијала материјала у оквиру фасадног система нису обухваћени генеричким декларацијама. Погрешна је претпоставка да се модул Д може узети као релевантна показатељ циркуларне економије у декларацијама

фасадних система. Наиме, резултати у оквиру овог модула су зависни од одабраног инвентара за декларацију и његове фазе производње. Ако је у фази производње употребљено више примарних сировина које се иначе могу рециклирати на крају животног века, резултати у фази Д су повољнији. Супротно томе, ако је већ у фази производње употребљено више секундарних сировина, потенцијал њихове рециклаже је већ оптимизован, те су резултати у фази Д нижи.

На велику грешку у приказивању података за фасадне системе у односу на фазе животног циклуса указано је током интервјуа са Ларсом Кнонером, која се односи на нетачно приказивање података у фази Б. Наиме, како је у генеричким декларацијама фасадних омотача најчешће предвиђен животно век од 50 година (потиче од животног века алуминијума), оне подразумевају једну замену стакла и две замене заптивки током овог периода. Иако би ови подаци требало да буду приказани у модулима фазе Б, они се још увек грешком приказују у фази производње А, јер се у старту рачуна да ће бити потребна замена узимајући у обзир цео животно век.⁴⁸ У декларацијама се фаза Б односи само на одржавање.

На основу наведених ограничења се изводи закључак да употреба генеричких декларација за фасадне системе неће дати тачне резултате прорачуна, већ се за испитивање утицаја примене стратегија циркуларне економије у обзир морају узети појединачне компоненте фасаде. Једино се на тај начин могу добити реални резултати процене утицаја на животну средину једног фасадног омотача у односу на промене његовог циркуларног потенцијала и естетских карактеристика.

4.5 АНАЛИЗА ПОТЕНЦИЈАЛА И ОГРАНИЧЕЊА ПРИМЕНЕ СТРАТЕГИЈА ЦИРКУЛАРНЕ ЕКОНОМИЈЕ НА ФАСАДНЕ ОМОТАЧЕ ВИСОКИХ ОБЈЕКТА

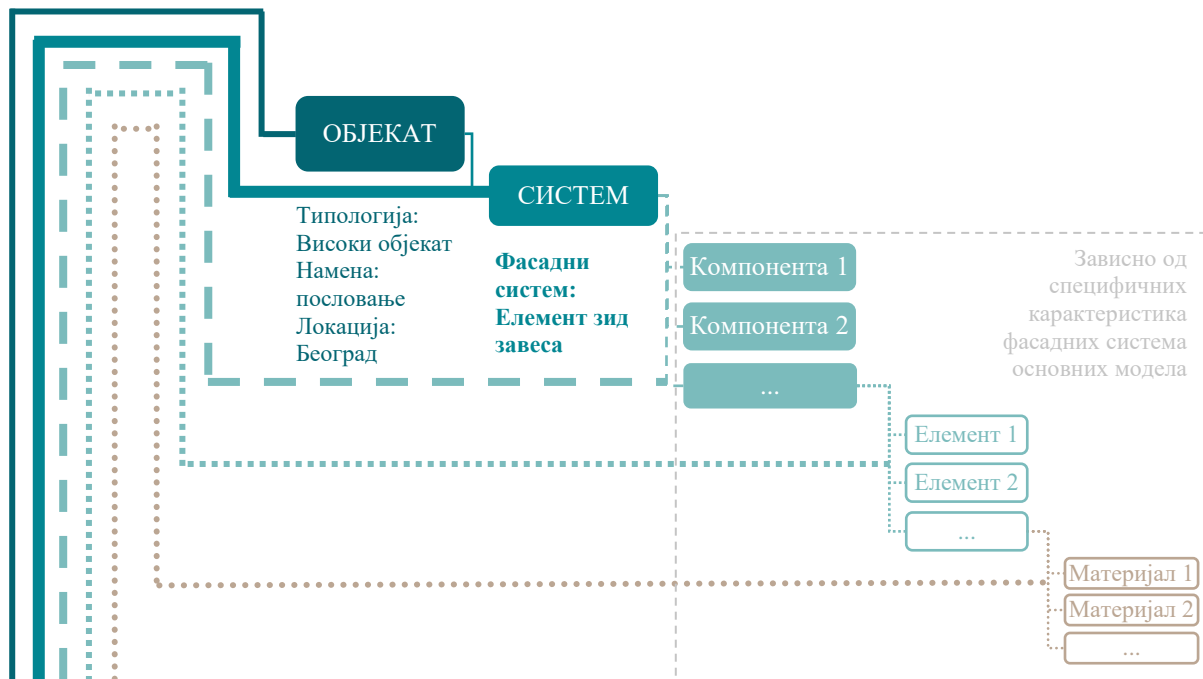
На основу систематизације сазнања из Поглавља 4.2 и 4.3, претпостављају се потенцијали и ограничења стратегија које се могу применити за оптимизацију елемент зид-завеса основних модела у складу са концептом циркуларне економије. Сагледавање потенцијала и ограничења указује на препознавање могућих поља деловања у поступку оптимизације фасадних омотача.

4.5.1 Анализа фасадних система основних модела МА и МВ у односу на нивое примене стратегија ЦЕ

Да би се одредиле стратегије које је могуће применити у циљу оптимизације фасадних омотача основних модела, анализирају се материјали и компоненте од којих је сваки од њих сачињен. По узору на теорију слојева објекта која се примењује у бројним истраживањима примене ЦЕ у зградама, фасадни омотач се разлаже од нивоа објекта до нивоа материјала (Hartwell, Macmillan, & Overend, Circular economy of façades: Real-world challenges and opportunities, 2021; Brand, 1994). Фасада је један од најкомплекснијих система у објекту јер подразумева велики број различитих компоненти, састављених од

⁴⁸ Подаци добијени током интервјуа са Ларсом Кнонером, директором одрживог саветовања произвођача *Schüco* (Lars Knöner, Head of Sustainability Consulting - Schüco International KG), 24.05.2023 године.

бројних елемената који имају различиту функцију. На самом крају он се може разложити до нивоа материјала од којих је сваки елемент изграђен (Слика 8).

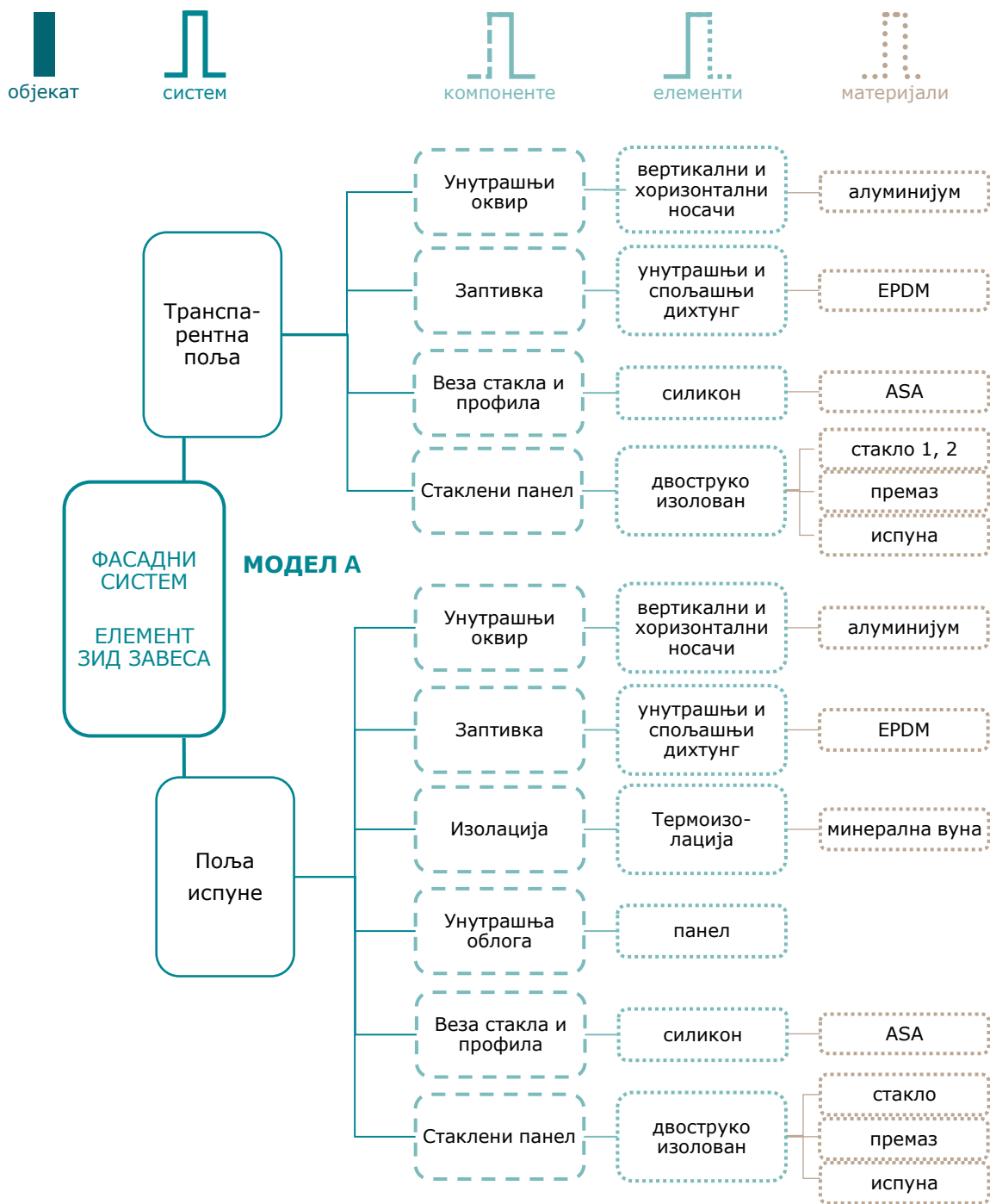


Слика 8. Разлагање структуре фасадних омотача у циљу утврђивања нивоа примене принципа и стратегија циркуларне економије (Аутор)

Компоненте које се прорачунавају код модела А су алуминијумски профили унутрашњег оквира, двоструко изоловани стаклени панели у оквиру транспарентних поља са ламинираним стаклом, минерална вуна у склопу нетранспарентних поља, силикон као веза стакла и алуминијумских профила, EPDM заптивка и двоструко изоловани стаклени панели са ојачаним стаклом у оквиру поља испуне (Слика 9).

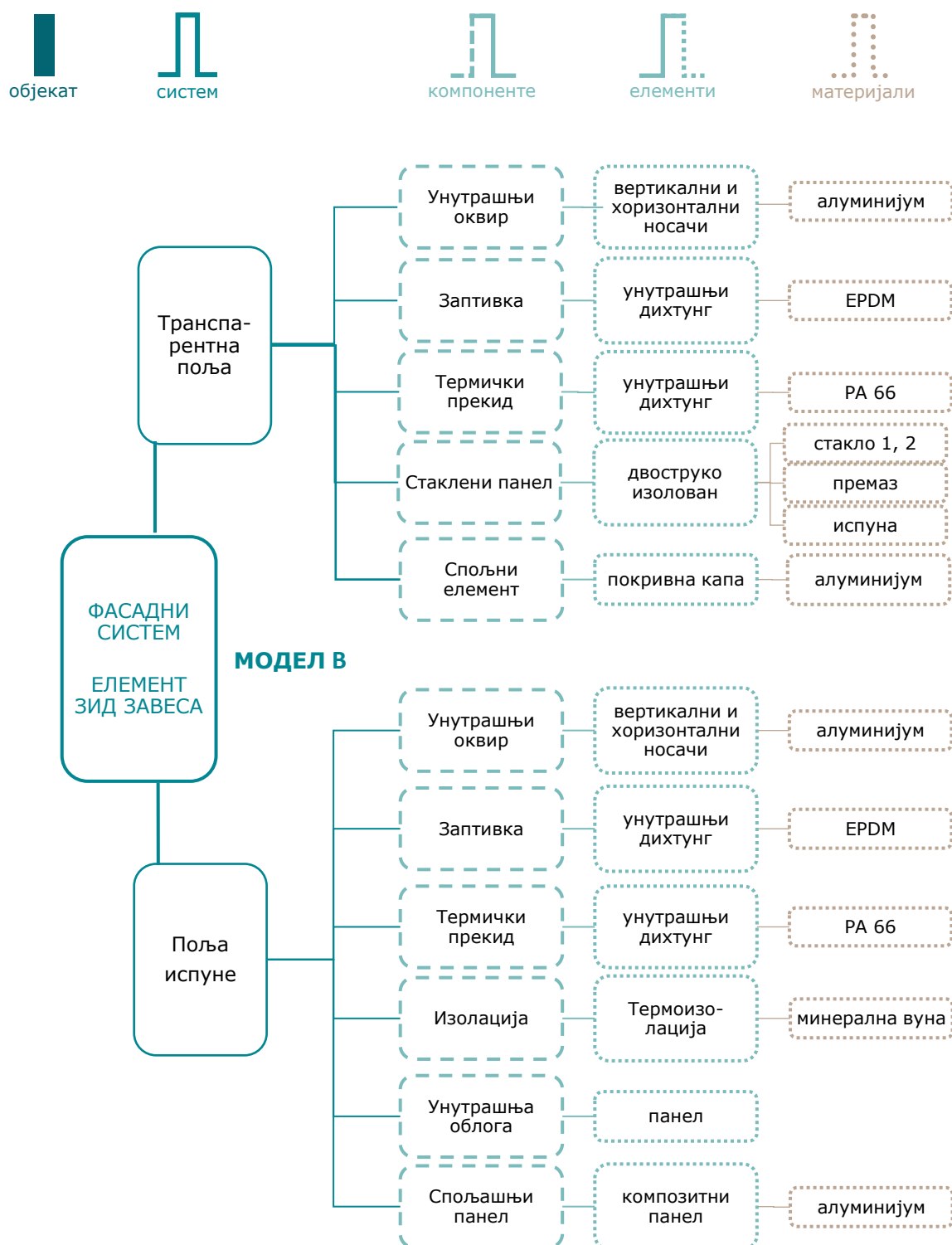
Компоненте у оквиру фасадног сегмента основног модела В су алуминијумски профили унутрашњег и спољашњег оквира, двоструко изоловани стаклени панели код транспарентних поља са ламинираним стаклом, алуминијумски профили и минерална вуна у оквиру нетранспарентних поља, термички прекид између профила односно полиамид PA66 и EPDM заптивка (Слика 10).

Код оба основна, а касније и оптимизованих панела, се у оквиру истраживања оптимизације, а касније и у нумеричким прорачунима, не узимају у обзир унутрашњи панели у склопу поља испуне, јер су они код оба модела исти. Такође, они су с обзиром на материјал од ког су сачињени, већ повољни са аспекта циркуларне економије, због чега је процењено да би њихова оптимизација имала мањи утицај на резултате прорачуна. Поред тога, у обзир се не узимају саме везе елемената зид-завесе са примарном носећом конструкцијом објекта, јер процена њихове оптимизације превазилази поље архитектонског деловања, с обзиром да у великој мери зависе од детаљних статичких прорачуна.



Слика 9. Приказ разложене структуре Модела А у односу на претходно дефинисане нивое примене принципа и стратегија циркуларне економије (Аутор)

Делови фасадних система основних модела фасадних сегмената, у односу на компоненте, елементе и материјала, одређени су на основу декларација производа за предвиђене фасадне системе модела МА и МВ.⁴⁹



Слика 10. Приказ разложене структуре Модела В у односу на претходно дефинисане нивое примене принципа и стратегија циркуларне економије (Аутор)

⁴⁹ Декларације за фасадне системе које је за потребе овог истраживања израдио централно представништво фирме Schüco у Немачкој су приказане у Прилогу 3.

4.5.2 Потенцијали и ограничења примене стратегија циркуларне економије на елемент зид-завесе основних модела

Примена стратегија циркуларне економије у циљу оптимизације фасадних омотача основних модела се анализира у односу на претходно дефинисане нивое примене материјала, елемената, компоненти и фасадног система.

4.5.2.1 Ниво примене: Материјали

На основу разложених структура основних модела А и В, за оптимизацију на нивоу материјала елемент зид-завеса биће значајно истраживање алуминијума, стакла, минералне вуне, панела у оквиру поља испуне и заптивки. На овом нивоу могу се применити стратегије које подразумевају употребу материјала са већим уделом секундарних сировина, материјала који се могу поново користити на крају животног циклуса и оних чија производња и одлагање имају мање негативне утицаје на животну средину.

Стратегија: **Одабир материјала произведених употребом рециклираних сировина**

Анализа материјала фасадних сегмената основних модела, указује на два најзаступљенија материјала, алуминијум и стакло. Са аспекта употребе рециклираних сировина у процесу производње ових материјала, погоднији је алуминијум. Стандардне елоксирани алуминијумске профиле карактерише висок удео рециклираних сировина у фази производње. Код њих секундарна сировина потиче од материјала који се рециклира током производних процеса у фабрици. Анализа тржишта и развоја фасадних производа (Поглавље 4.4), указала је на производ који је тренутно најоптималнији са становишта циркуларне економије. Ради се о профилима *Hydro Circal* који нису сачињени само од алуминијума рециклираног током различитих фабричких процеса производње, већ и алуминијума који је рециклиран након испуњеног животног циклуса у неком претходном производу. Однос ове две врсте алуминијума је такав да 19,7% потиче од рециклаже у фабрици, док је порекло чак 82,1% материјала од рециклаже других производа.⁵⁰

Равно стакло које се уграђује у термоизолационе стаклене пакете садржи низак удео секундарних сировина, које се издвајају током процеса производње у фабрикама. Заправо, стакло је у фасадној индустрији најчешће употребљено без рециклираних сировина, јер су захтеви које мора да испуни изузетно високи. У претходној години еј компанија *Saint-Gobain* на тржиште пласирала стакло *ORAE* са 64% рециклираног кулета, што са овог аспекта представља највећи напредак и приближавање овог производа концепту циркуларне економије.

Материјали који се односе на заптивку, везе и дихтунг се не могу оптимизовати са аспекта повећања удела рециклираних сировина у фази производње. За њих тренутно на тржишту не постоје производи који је оптималнији од стандардно примењиваних. Од материјала који се могу оптимизовати са овог аспекта издваја се минерална вуна, која би

⁵⁰ Подаци добијени током интервјуа са Флорианом Шнецером, менаџером за одрживост произвођача *Hydro* (*Florian Schnetzer, Sustainability Manager - Hydro Extrusion Europe*), 08.08.2023.

заправо могла да има висок удео рециклираних сировина у бази производње, али је он и даље ограничен на максимални удео од 50% у фасадној индустрији.

Стратегија: Одабир материјала на основу могућности рециклаже или поновне употребе на крају животног циклуса

Велики део материјала од којих су састављене компоненте зид завеса се може рециклирати, са изузетком стакла, нарочито уколико се ради о изолованим стакленим пакетима или ламинираном стаклу, који су данас готово увек заступљене на фасадама високих објеката.

Највећи потенцијал за рециклажу код елемент зид завеса имају алуминијумски профили носеће конструкције. Такође алуминијумски профили су елементи који у оквиру зид завеса нуде највеће могућности за поновну употребу, првенствено због дужине животног века, а затим јер перформанса не деградирају временом. Предвиђени сценарио за алуминијумске профиле оквира фасадних система је готово увек рециклажа, и то у високом проценту од 95%. Међутим део материјала се губи на самом градилишту приликом рушења објекта, а обрада и процес рециклаже којим се сировина враћа у производни процес води ка додатном губљењу иницијално уграђеног материјала. Ипак, у односу на остале материјале у фасадним сегментима алуминијумски профили су најповољнији са овог аспекта.

За разлику од алуминијума, стакло је са становишта поновне употребе или рециклаже најнеповољнији материјал у испитиваним фасадним системима. У тренутној индустрији стакло се најчешће завршава на депонији или је у најбољем случају рециклирано и употребљено у производима знатно ниже вредности (Hartwell & Overend, 2020). Уобичајена деконструкција стаклених фасада је заправо рушење багером при чему се панели ломе на лицу места и затим скупљају без сортирања и одвозе на депонију (Hillebrandt, Riegler-Floors, Rosen , & Seggewies, 2018). У мањем броју случајева када се на лицу места приликом рушења врши замена скидају се цели прозори или делови фасада чиме је могуће каснијом сепарацијом изоловати стакло и посебно га рециклирати. Међутим ово је у пракси ретко примењиво. Посебан изазов код поновне употребе и рециклаже стакла представљају двоструки или троструки изоловани стаклени пакети, за које до сада на тржишту нема производа који се директно могу поново користити. Управо овај аспект је истакнут у бројним истраживањима као кључан за оптимизацију целокупне фасадне индустрије, а нарочито за фасаде типа зид завеса где би стаклени панели у односу заступљеност у фасадном омотачу знатно допринели укупном циркуларном потенцијалу фасада (DeBrincat & Babic, 2018; Hartwell & Overend, 2020).

Стратегија: Одабир материјала на основу процене утицаја на животну средину

Материјали који су најдоминантнији у зид завесама су алуминијум и стакло, који су генерално у грађевинској индустрији једни од материјала са највећим негативним утицајем на животну средину.

Иако имају бројне предности са аспекта удела уграђених рециклираних сировина и могућности поновне употребе, поступак производње екструдираних алуминијумских профила је изузетно неповољан за животну средину. Алуминијум се у оквиру фасада типа елемент зид завесе примењује за израду хоризонталних и вертикалних профилима унутрашњег оквира, односно главне носеће конструкције фасаде. Поред тога од овог материјала се производе и спољашњи профили зид завеса, односно покривне капе и различити декоративни додаци, као и елементи засенчења. Сви наведени елементи израђују се од екструдираних профила које одликује висок однос снаге и тежине, могућност прецизне контроле димензија, лака израда и спајање и потенцијал прилагодљивости специфичним апликацијама. Управо због могућности лаког постизања сложених облика екстудирани профили се често користе у различитим архитектонским решењима фасадних омотача. Стандардни поступак производње профила подразумева загревање легуре претходно формиране у трупац цилиндричног облика, у циљу омекшавања, али не и топлења. Затим се омекшана легура у машини за екструзију хидрауличном пресом под високим притиском гура у калуп, израђен специфично за конкретан жењени облик. Након проласка легуре кроз калуп, настаје непрекидан дугачки профил са истим попречним пресеком по целој дужини. Профил се затим хлади и сече на дефинисане дужине, након чега се може даље обрађивати у циљу постизања жељене завршне обраде или боје. То подразумева процес елоксирања односно анодизације или премазивање прахом.

За фасадне профиле додатно је од великог значаја побољшања површинске отпорности алуминијума на корозију, као и заштита од хабања. Додатно је могуће постизање различитих естетских карактеристика профила. За фасаде високих објеката најчешће се користе елоксирани профили који настају процесом анодизације односно стварања танког слоја алуминијум-оксида на површини метала. Додатни слој профилима даје додатну отпорност, али и препознатљиву сјајну завршну обраду. Поред тога ове површине имају високу отпорност на светлост, УВ зрачење и корозију.

Поред стандардног алуминијума, *Schüco* нуди још два типа алуминијума са нижом GWP вредношћу (потенцијал глобалног загревања): алуминијум са ниским емисијама CO₂ (low carbon), чија је GWP вредност 4.9kgCO₂e и алуминијум са ултра ниским емисијама (ultra low carbon), чија је GWP вредност мања од 2.7 kgCO₂e Ово је омогућено коришћењем рециклираног материјала као сировине и употребом електричном енергијом из обновљивих извора у производњи алуминијума. Профили који се производе употребом сировина рециклираних у фабрици у фази производње имају емисију 4,77kgCO₂e, док се код профила који имају мањи удео рециклираних сировина ова вредност иде и до 10kgCO₂e. Са аспекта оптимизације утицаја на животу средину се издвајају и претходно објашњени алуминијумски профили *Hydro Circal* за које је GWP вредност у фази производње 3,6 kgCO₂e (Прилог 4).

Термоизолациони стаклени пакети имају највећи утицај на потрошњу оперативне енергију објекта због чега је његова оптимизација кључна за остваривање енергетске ефикасности високих зграда. Побољшање термичких перформанси пакета подразумева њихове комплексне конфигурације, сачињене од великог броја различитих материјала повезаних хемијским везама које се не могу раставити. С обзиром да су главна веза између унутрашњег и спољашњег простора и значајан фактор за пропуштање дневне

светлости, постоје бројни фактори који се морају узети у обзир приликом одабира стакла. Приликом пројектовања изолованог стакленог панела неопходно је узети у обзир следеће; дебљина стакла, порекло материјала, топлотна проводљивост, употреба различитих нискоемисионих премаза, материјал и енергија потребни за сасављање јединица односно заптивка и дистанцери. Све конфигурације изолованих стаклених панела састоје се од равног стакла ојачаног на различите начине. Међупростор између два стакла се испуњава гасом, најчешће аргоном, и повећање овог простора доприноси перформансама стакла. Међупростор се сана странама затвара дистанцером чија се позиција учвршћује заптивком чиме се формира јединствен стаклени панел. Поред тога за стакло високих објеката додатно је неопходно узети у обзир енергију повезану са производњом утицај ојачавања стакла или ламинирања стакла који се обавезној примењују у циљу повећања отпорности (Gunasekaran, Premalatha, & Malini, 2010).

Истраживање које се бави проценом утицаја стакла у фасадним омотачима које је објавила фирма АРУП, указује на емисије угљен-диоксида у зависности од различитих карактеристика стаклених пакета и заступљености стакла у једној фасади (Arup, 2022). Извештај даје податке о уграђеној енергији која се везује за производњу елемента зид завесе, у односу на уграђене компоненте. Истраживање је указало на аспекте производње стаклених изолационих пакета који имају позитиван утицај на потрошњу оперативне енергије објекта, а не захтевају велику потрошњу енергије током производње. Наиме, за примену нискоемисионих премаза у стакленим пакетима везује се само 1,1kgCO₂ у фази производње за модуле А1 и А3.⁵¹ Резултати прорачуна за елемент зид завесу који се тичу односа уграђене и оперативне енергије је показало да у зависности од конфигурације омотача стакло доприноси од 25 до 60% уграђеној енергији омотача (Arup, 2022).

Утицај производње стаклених термоизолационих панела на емисије угљен диоксида зависи од њихове конфигурације, у смислу дебљине, употребљеног равног стакла, испуне, дистанцера и процеса склапања пакета. Процес ламинирања стакла одговора је за емисију 6,8kgCO₂ а процес склапања двоструко изолованог стакленог пакета 9,9kgCO₂. У циљу јаснијег разумевања емисија CO₂ у зависности од конфигурације стаклених панела спроведен је детаљан прорачун у софтверу *Calumen* компаније *Saint-Gobain*. У њему се у зависности од конфигурације склопа стакленог пакета коју корисник сам задаје (дебљина, броја и врсте стакла, испуне и примене различитих премаза и фолија) одређује емисија CO₂ за фазу производње стакленог пакета. Резултати прорачуна су приказани у Прилогу 2. Они указују и на значај примене стакла чији је процес производње у фабрици оптимизован употребом обновљивих извора енергије. Тако се код овако оптимизованог стакла, за производњу равног стакла *ORAE* везује 5,88kgCO₂, док је код најчешће примењиваног стакла *PLANICLEAR* та вредност 11,4kgCO₂. Емисије угљен-диоксида као и остали утицаји на животну средину су за два наведена типа стакла, у зависности од дебљине, приказана у Прилогу 2.

⁵¹ Arup. (2022). *Carbon Footprint of Facades: Significance of Glass*, стр 6.

4.5.2.2 Ниво примене: Елементи и компоненте

Стратегија: **Смањење броја елемената и употребљене количине материјала**

Ова стратегија има велика ограничења примене у фасадама високих објеката пре свега због високих захтева који они морају да испуне. У односу на термичке перформансе као и фактор безбедности, није могуће увек смањити количине уграђених материјала и истовремено испунити захтеване стандарде приликом пројектовања фасадног омотача.

Стратегија: **Продужетак и усклађивање животног века материјала, елемената и компоненти**

Највећи проблем у фасадном омотачу типа елемент зид завеса представља неусклађен животно век појединачних компоненти као и материјала од којих је састављен. На основу анализе литературе процењени су подаци о животном веку различитих компоненти у оквиру стандардног фасадног омотача типа зид завесе. Посматрано са становишта животног века у оквиру зид завеса уочава се драстична разлика између појединачних компоненти јер алуминијумски оквири имају век трајања од 50 година, изоловане стаклене јединице 25 до 30 година, а заптивачи само 15 до 20 година (Berge, 2009). Завршни слој елоксираних профила и премаз могу да трају 25 година, што је једнако животном веку силиконских веза, док компонента термичког моста траје 30 година. Елементи унутрашње заптивке имају исти век трајања, док спољашња заптивка има краћи животно век од 20 година (Hartwell & Overend, 2020).

На основу тога може се закључити да за време животног века алуминијумског оквира, остале компоненте попут стакла и панела у пољима испуне морају бити барем једном замењене, док се дихтунзи и заптивачи мењају чак два пута. Ове разлике остављају велики простор за оптимизацију у складу са принципима циркуларне економије (Hartwell & Overend, 2020). Са овог аспекта најнеповољнија компонента су стаклени панели чији је животно век најчешће процењен на 25 година, иако је животно век самог стакла 60 година. Међутим у тренутку када оно бива уграђено у изолациони пакет, његов потенцијал више није могуће искористити због ограниченог животног века заптивке.

Због тога је важно да се већ при пројектовању одреди који од наведених сценарија коришћења фасаде ће бити примењен током њеног животног века. С тога је важно већ у фази планирања предвидети сценарио за сваку компоненту која се мора ускладити са животним веком фасаде и узети у обзир следеће могућности оптимизације:

- Усклађивање животног века уграђених елемената и компоненти;
- Утврђивање могућности замене елемената чији животно век је истекао кроз омогућавање демонтаже од елемената чији животно век је дужи;
- Обезбеђивање потпуног растављања свих уграђених елемената у истом временском тренутку у циљу омогућавања појединачне поновне употребе или рециклаже.

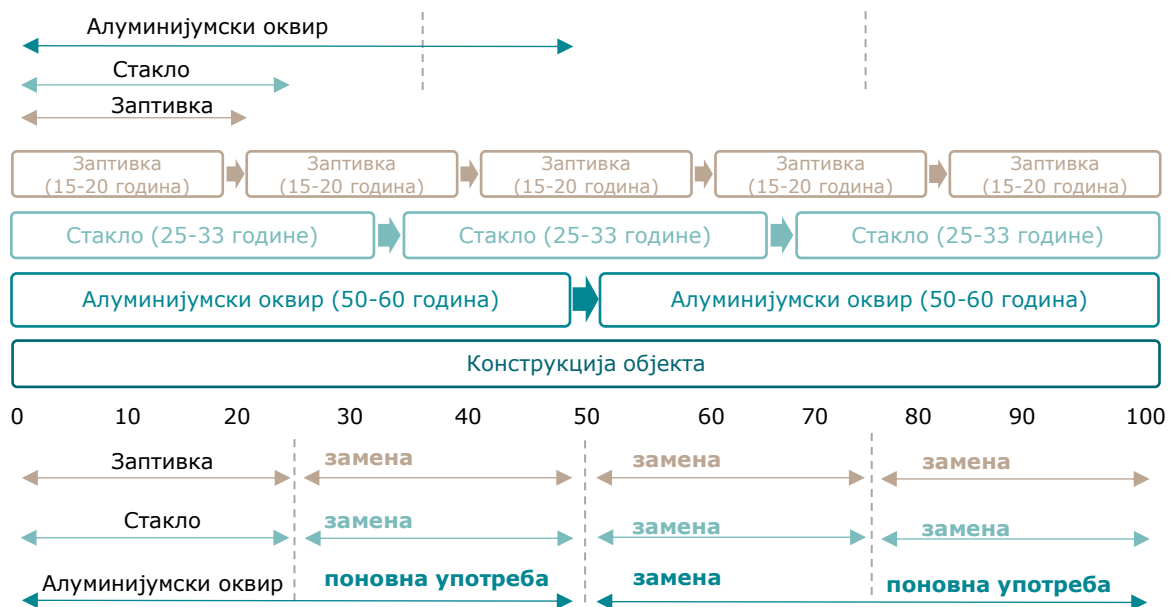
На основу анализе литературе утврђен је најчешћи животни век компоненти у оквиру фасада типа елемент зид завеса и тренутака њихове замене у стандардној пракси, на основу чега се предлаже оптимизовани сценарио (Слика 11). У њему се усклађује животни век компоненти и омогућава потпуно искоришћавање њиховог максималног животног века избегавањем превремене замене.

Стандардни сценарио:

Просечан временски период замене целог фасадног омотача: 35- 40 година

Проблеми/последице:

- Потпуна замена алуминијумских профила = не искоришћавање пуног животног века.
- Касна замена стакла = губитак термичких перформанси.
- Често се не изводи, иако је неопходна минимум 1 замена заптивке = губитак термичких перформанси.



Оптимизовани сценарио:

Просечан временски период замене целог фасадног омотача: 25 година

Усклађивање животног века компоненти

- Поновна употреба алуминијумских профила након 25 година, омогућавање искоришћавања пуног животног века у периоду од 50 година.
- Замена стакла након 25 година омогућава одржавање енергетских перформанси омотача.
- Усклађивање промене заптивке са заменом стакла с обзиром на постигнут дужи животни век развојем производа у последњим годинама.

Слика 11. Усклађивање животног века компоненти фасадних сегмената основних модела у циљу оптимизације циркуларног потенцијала (Аутор)

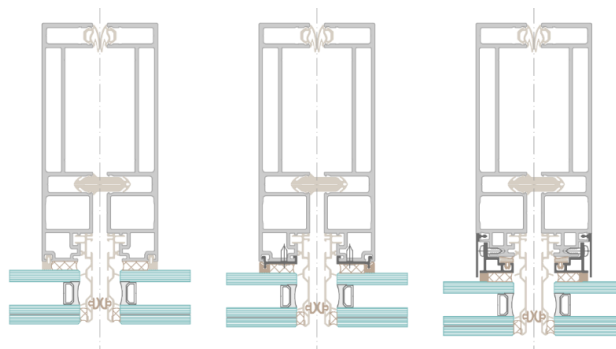
Стратегија: Дизајн за демонтажу

Анализа литературе је указала да је дизајн за демонтажу једна од стратегија чија примена има највећи потенцијал у фасадној индустрији (Kragh & Jakica, 2022; Vinow Bitar, Bergmans, & Ritzen, 2022). Због великог броја различитих компоненти од којих је сачињен фасадни омотач, као и значајних разлика у њиховом животном веку, функционално коришћење зид завесе најчешће зависи од самих појединачних компоненти, а оне са друге стране зависе од прве компоненте са којом се додирују. С тога је важно обезбедити везе које се могу раставити да би се омогућила промена елемента краћег животног и задржавање онога који још увек може да се користи (Hartwell & Overend, 2020).

Фасадни системи који су предмет истраживања су погодни са аспекта демонтаже саме фасаде од носеће конструкције објекта. Када посматрамо појединачне у фасадним сегментима основних модела, закључује се да су алуминијумски профили унутрашњег оквира су најповољнији са аспекта демонтаже јер се ради о механичкој вези. Могуће је одвајање вертикалних и хоризонталних елемената оквира, без оштећења других компоненти. Супротно њима, стаклени пакети су мање повољни са аспекта демонтаже, јер је овај производ спојен меком хемијском везом која се не може раставити без штете на компоненте. На пример за ламинирано стакло које се користи у фасадама високих објеката тренутно не постоји ниједна техничка метода рециклаже или сепарације.

Код основног модела МА додатно негативни утицај на демонтажу има силиконска веза стакла са профилима унутрашњег оквира, која је изведена као мека хемијска веза, чија демонтажа узрокује непоправљиву штету на стаклени панел и делимично поправљиву штету на алуминијумским профилима. Са овог аспекта је модел МВ повољнији, јер поред унутрашњег оквира постоје и алуминијумски профили спољашњег оквира између којих се налази стаклени термоизолациони пакет, чија је позиција осигурана механичком везом.

У циљу оптимизације веза у фасадном систему основног модела А, предлаже се додавање алуминијумског профила који ће деловати као посредник између стакленог пакета и носећих профила фасадног поља (Слика 12). Иако је оваква оптимизација супротна стратегијама циркуларне економије које се залажу за употребу мање количине уграђених материјала, она омогућава избегавање директне везе силикона профила конструкције како би се избегло његово оштећење приликом демонтаже фасаде.



Слика 12. Оптимизација одвајања алуминијумских профила оквира од двоструко изолованих стаклених панела додавањем елемента који омогућава избегавање штете приликом демонтаже и поновну употребу главне конструкције (Аутор)

Стратегија: **Омогућавање поновне употребе елемената или компоненти**

Поновна употреба фасадних компоненти на крају животног циклуса је врло ограничена с обзиром на константан развој индустрије и производа у складу са побољшањем енергетске ефикасности чиме се претходно употребљени производи не задовољавају нове стандарде. Чак и поновна употреба компоненти које су стандардизоване није једноставна јер њихове перформансе свакако деградирају током година а комплексност захтева које фасада мора да испуни захтевају проверу чврстоће, термичких карактеристика и сигурности свих делова, што поновно употребљене компоненте често не могу да испуне. Зграде су пројектоване за посебне климатске зоне у којима се налазе а у односу на непредвидиве промене климе захтевају константно обнављање како би имале оптимизована енергетске перформансе. Та ситуација отежава поновну употребу фасадних елемената након животног века јер је до тада систем вероватно већ превазиђен или неодговарајући за новонастале климатске услове.

Који су истраживали сценарије повратка за изоловану стаклену јединицу чији је животни век 25 година и утврдили су тренутне неусаглашености о стварном животном веку и процене задржавања перформанси главна ограничења за утврђивање да ли се систем може поново искористи након неког времена. Када би се одржавањем систем унапредио и поново искористио био би повољнији са становишта уграђене енергије, нарочито ако се ради о једноставном склопу. Уколико би склоп постао превише комплексан и животни век производа био дуг, он не би био погодан за поновну употребу већ једини сценарио за њега је у најбољем случају рециклажа (Hartwell & Overend, 2020).

Проблем може представљати директна поновна употреба алуминијумских профила на другом објекту јер су одређени специфичним карактеристикама пројекта, што захтева додатне акције за поновну употребу, као и санацију оштећења насталих приликом демонтаже. Ово је нарочито проблем код фасадног сегмента основног модела МА, јер се између алуминијумских профила и стакла налази силиконска веза, чија демонтажа увек узрокује оштећење алуминијума. Саме профиле је могуће употребити за друге фасаде јер је могуће додати друге рупе за примену за спој других елемената. Поновна употреба панела из поља испуне је могућа због века трајања, али је ограничење у томе су већ одређених димензија и уколико би се користили на новом објекту морали би да се користе у истим димензијама. Евентуално би могли да се прилагоде на мање димензије сечењем, али ови процеси захтевају додатну енергију у фази производње.

Вероватноћа за директну поновну употребу компоненти већ постојећих елемената у елемент зид-завесама које се уграђују код високих објеката је врло ниска због изузетно строгих спецификација које морају да испуне.

Међутим поновна употреба елемената у самом систему и на истом објекту је могућа за компоненте које се могу демонтирати без оштећења и чији животни век је дужи од осталих компонента у фасадном сегменту. Тако се елементи вертикалних и хоризонталних алуминијумских профила компоненте оквира могу директно поново користити иако се мења стаклени пакет. У овом тренутку би било пожељно одржавање премаза на профилима. Слична ситуација је и са алуминијумским панелима и минералном вуном. Најбољи пример на коме су поново коришћени алуминијумски панели је Commerzbank Tower у Дизелдорфу (Grom & Putz, 2022). Постојећи панели су демонтирани, транспортовани у фабрику где су отворени да би анализирали штета и

проверила чврстоћа. Затим је изолација замењена минералном вуном веће дебљине, након чега су панели затворени новим заптивкама и поново уграђени на зграду.

4.5.2.3 Ниво примене: Систем

Стратегија: **Употреба модуларних и стандардизованих производа**

Примена елемената стандардних димензија је значајна код фасадних омотача јер подразумева оптимизовани процес производње и смањење количине отпада током њега. Код фасада типа елемент зид завеса које се примењују на високим објектима димензије елемената зависе од носеће конструкције објекта, јер њене димензије условљавају висину и ширину фасадних поља. Висина елемената зависи од спратне висине и размака плоча на које се причвршћују фасадни елементи, док ширина зависи од растера стубова који одређују сегменте у оквиру којих се врши хоризонтална подела фасадних поља. Усаглашавање димензија носеће конструкције објекта и фасадних поља, омогућава примену стандардних елемената зид завесе, чија је производња и уградња већ оптимизована.

Циркуларна економија указује на значај стандардизације елемената и даје приоритет модуларним елементима примењеним на објектима једноставне геометрије у односу на комплексне форме које захтевају специјална решења. Могућа ограничења до којих доводи стандардизација су пројектовање униформних објеката и фасада, чиме се доводи у питање естетика целог високог објекта. Међутим, употреба модуларних и стандардизованих производа би требало да буде узета у обзир због потенцијално ниже потрошње енергије током производног процеса, што може имати одраз на укупну процену животног циклуса објекта.

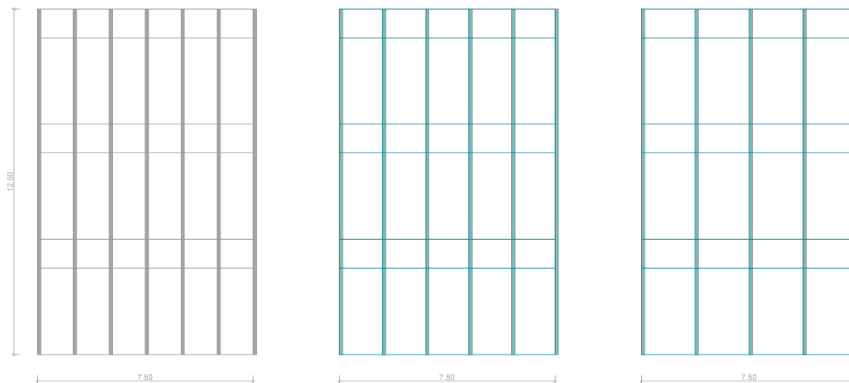
Иако имају бројне предности, поступак производње екструдираних алуминијумских профила је изузетно неповољан за животну средину. У случају производње алуминијумских профила за фасаде пресеци калуца се праве у односу на претходно дефинисане стандардне димензије профила од стране произвођача фасадних система. Међутим уколико комплексност архитектонског пројекта захтева специјална решења, за израду фасадних профила се производе нови калупи. С тога се економски исплати пројектовати зграде у којима је могуће користити стандардне профиле, што је и повољније за животну средину јер не захтева потрошњу ресурса за израду специјалних калуца.

Стратегија: **Префабрикација**

У случају елемент зид завеса нема ограничења или препрека за примену ове стратегије, с обзиром да се она већ подразумева код ових фасадних система. Предност елемент зид завеса у односу на друге системе је префабрикација односно производња у контролисаним условима која гарантује квалитет. Такође, тиме се избегавају временски утицаји приликом уградње (Watts, 2019). Елемент зид завесе се већ према начину производње могу сматрати добрим избором са становишта циркуларне економије, јер је оптимизација процеса састављања великог броја истих елемената у фабрици знатно смањује потрошњу енергије током производње (Memari, 2013).

Стратегија: Смањење броја компоненти

У односу на претходну анализу примене стратегија на нивоима материјала, елемената и компоненти установљено је да би додатни потенцијал у оптимизацији могао да буде остварен различитом заступљеношћу компоненти у оквиру фасадног сегмента. С тога се на нивоу целог фасадног система истражује редукација броја уграђених компоненти на основу повећања димензија фасадних поља. Када посматрамо утицаје фазе производње компоненти, алуминијумски профили имају најнеповољнији утицај на животну средину, због чега се претпоставља да би редукација њиховог броја имала позитиван утицај на оптимизацију фасадних сегмената основних модела. Повећањем димензије фасадних поља редукује се њихов број, односно елиминишу се одређени вертикални профили. На нивоу једног сегмента се тако смањује број вертикалних тако што се број поља смањује са 18, на 15 повећањем њихове ширине за 0.25cm, односно на 12 повећањем њихове ширине за 0.625cm (Слика 13).



Слика 13. утицај промене димензије фасадних поља на редукацију вертикалних профила оквира и естетске карактеристике фасадног омотача (Аутор)

Стратегија: Редукација броја компоненти које се не могу оптимизовати са становишта циркуларне економије

Претходна анализа је показала да је материјал односно компонента која је најмање оптимизирана са аспекта циркуларне економије изоловани стаклени пакет. Највећи проблем тренутно има индустрија стакла која због саме природе материјала не може да држи корак за растућим стандардима очувања ресурса и емисије штетних гасова.⁵² Узимајући у обзир да су остали уграђени материјали у фасадним сегментима повољнији са овог становишта, у поступку оптимизације могуће је истраживати стратегије којима ће се повећати њихова употреба, а редуковати уграђена количина стакла.





⁵² Подаци добијени током интервјуа са Ларсом Кнонером (Lars Knöner, Head of Sustainability Consulting - Schüco International KG), 24.05.2023 године.

4.5.3 Преглед одабраних принципа и стратегија циркуларне економије за оптимизацију основних модела фасадних омотача

Систематизацијом сазнања из претходно приказане анализе потенцијала и ограничења примене стратегија циркуларне економије на фасадне омотаче основних система, одређују се оне које ће бити примењене у циљу оптимизације фасаде.

Примена стратегија одређује се према нивоима примене у циљу процене утицаја на поступак оптимизације, а затим и утврђивања њихове међусобне повезаности. У односу на предмет и циљ истраживања, у поступку оптимизације биће примењене стратегије на нивоу материјала, елемената и компоненти, као и целог фасадног система (Табела 8).

Табела 8. Преглед одабраних стратегија циркуларне економије за поступак оптимизације фасадног омотача основних модела

Ниво примене		Стратегија
	Фаза производње	Одабир материјала произведених рециклажом сировина након претходне употребе у другим производима
		Одабир материјала произведених употребом сировина рециклираних током фабричких процеса производње
		Одабир материјала на основу процене утицаја на животну средину
	Фаза краја животног века	Одабир материјала на основу могућности рециклаже на крају животног циклуса
		Редукција количине одложеног отпада
	Фаза употребе	Усклађивање животног века уграђених материјала
		Продужетак животног века елемената чији је могући период коришћења дужи у односу на остале у фасадном сегменту
	Демонтажа	Омогућавање одвајања елемената који се могу поново искористити или рециклирати
	Производња/уградња	Префабрикација
		Стандардизација димензија фасадних поља
		Редукција укупног броја компоненти и количине уграђеног материјала
		Редукција компоненти које се не могу оптимизовати са становишта циркуларне економије

5. ПРОРАЧУН ИНДИКАТОРА ЦИРКУЛАРНОГ ПОТЕНЦИЈАЛА И ПРОЦЕНА ЖИВОТНОГ ЦИКЛУСА ЗА ФАСАДНИ СЕГМЕНТ ОСНОВНИХ И ОПТИМИЗОВАНИХ МОДЕЛА

5.1 ДЕФИНИСАЊЕ КРИТЕРИЈУМА ЗА КВАНТИФИКАЦИЈУ

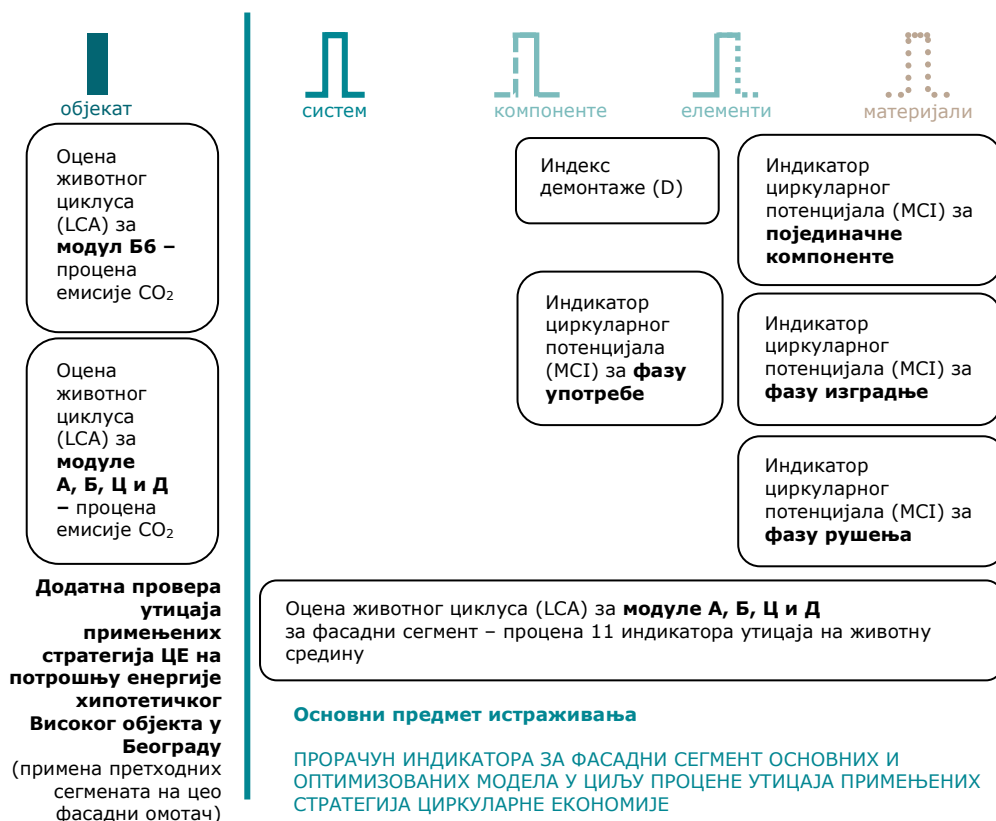
Један од препознатих изазова у имплементацији циркуларне економије у процесу архитектонског пројектовања, објашњен у закључном делу Поглавља 3, била је и немогућност јасне квантификације резултата. Наиме, посебну потешкоћу представља чињеница да не постоји јединствени мерни систем који свеобухватно сагледава резултате примене одређених стратегија циркуларне економије током процеса пројектовања зграда.

Током претходних година овај проблем је био тема истраживања бројних научних радова који су предлагали различите методологије за квалитативну или нумеричку процену циркуларног потенцијала зграда. Тако су развијени различити индикатори циркуларности материјала, индикатори за процену демонтаже и поновне употребе, индикатори дуговечности, или су примењене методе оцене животног циклуса зграда (Saidani, Yannou, Leroy, Cluzel, & Kendall, 2019; Dräger, Letmathe, Reinhart, & Robineck, 2022; van Stijn, Malabi Eberhardt, Wouterszoon Jansen, & Meijer, 2021). Анализа литературе је указала на чињеницу да је често недовољно прорачунати само један индикатор. Тако на пример процена демонтаже сама по себи није довољан појединачни индикатор који одређује циркуларни потенцијал било ког производа, али је веома значајна за остваривање циљева других стратегија ЦЕ (Dutch Green Building Council, 2021). Највећи број научних истраживања препоручује повезивање методе оцене животног циклуса са различитим индикаторима циркуларног потенцијала како би се утврдио утицај током целог животног циклуса производа (Niero & Kalbar, 2019; van Stijn, Malabi Eberhardt, Wouterszoon Jansen, & Meijer, 2021; Lam, Claes, & Ritzen, 2022). Истиче се сложеност објеката као најпроблематичнији фактор у процени циркуларности зграда, јер се оне састоје од много различитих система и њима припадајућих компоненти. Ово је додатно отежано и различитим животним веком компоненти као и њиховим различитим утицајима на животу средину. Изазови процене оптимизације објеката са становишта циркуларне економије укључују изузетно компликован и временски захтеван процес прикупљања података на основу актуелних истраживања и доступности. Због ових изазова, последњих година су објављени бројни алати и софтверски додаци који олакшавају мерење циркуларног потенцијала зграда.

Један од првих индикатора за процену циркуларног потенцијала појединачних материјала и производа развијен је од стране фондације Елен Мек Артур (Ellen MacArthur Foundation, 2019). Неколико година коришћен је као једини прорачун којим су могле да се утврде нумеричке вредности циркуларности производа. Овај индикатор је општег карактера и није прилагођен једној индустрији, због чега се указује на његова

ограничења приликом примене у процени објеката. Највећи недостатак овог прорачуна је немогућност разликовања материјала који је рециклиран током производње компоненти у фабрици и материјала који се добијају рециклажом компоненти које су претходно биле употребљене као производи. Даљи развој индикатора за мерење циркуларног потенцијала је довео до појаве софтвера у оквиру којих су представљене нове методологије процене циркуларног потенцијала зграда. Једни од њих су и *One Click LCA* и платформа Мадастер. Платформа Мадастер се примењује се у неколико држава Европе као најверодостојнији софтвер за укупну процену објеката са аспекта циркуларне економије. Обухвата процену токова материјала, прилагођену верзију основног индикатора циркуларног потенцијала за зграде, индекс демонтаже и процену утицаја на животну средину (Heisel & Rau-Oberhuber, 2020). Због могућности прорачуна више индикатора на основу једног уноса података, одабран је за нумеричке прорачуне спроведене у оквиру докторске дисертације. Унапређена верзија која се односи на зграде даје резултате на основу којих се могу изнети закључци релевантни за разумевање предмета овог истраживања односно оптимизације фасада у односу на примењене принципе циркуларне економије.

Систематизацијом сазнања о индикаторима који се користе за процену примене концепта циркуларне економије у зградама, одабрани су они који највише одговарају предмету истраживања и који ће бити предмет даљих нумеричких прорачуна (Слика 14).



Слика 14. Преглед индикатора који се користе за нумеричку процену утицаја стратегија циркуларне економије у поступку оптимизације фасадног омотача у зависности од нивоа примене (Аутор)

5.1.1 Индикатор циркуларног потенцијала

Мадастер индикатор за процену циркуларног потенцијала (*Madaster circularity indicator - MCI*) се нумерички појединачно рачуна за фазу изградње, фазу употребе и фазу краја животног циклуса објекта (Madaster, 2021). Како би могао да се спроведе прорачун, неопходно је да корисник платформе на самом почетку унесе детаљне податке о сваком појединачном материјалу односно производу од којих се објекат састоји.⁵³ Почетне податке је могуће унети преко БИМ модела или Excel табеле, након чега следи детаљна допуна информација о пореклу материјала, животном веку и третирању на крају животног циклуса (Madaster, 2022). За исправно одређивање индикатора циркуларног потенцијала за сваки појединачни производ или компоненту неопходно је дати информације на којима се заснива резултат прорачуна, приказане у Табели 9.

Табела 9. Подаци за одређивање индикатора циркуларног потенцијала током сваке од фаза животног циклуса зграде (Аутор према Madaster, 2021)

Фаза производње/изградње	Фаза употребе	Фаза краја животног века/рушења
<ul style="list-style-type: none"> • Маса производа (kg) • удео масе производа направљен употребом примарних ресурса (%) • удео масе производа направљен употребом рециклираних сировина (%) • удео масе производа направљен употребом поново искоришћених сировина (%) • удео масе производа направљен од сировина органског порекла (%) • Ефикасност процеса рециклаже који резултира рециклираним материјалима (%) • Маса отпада који се рециклира током производног процеса настаје (kg) 	<ul style="list-style-type: none"> • Функционални животни век употребљених производа и материјала (у годинама) • Просечан животни век трајања слоја зграде (у годинама) 	<ul style="list-style-type: none"> • Удео материјала који се сакупља и кроз рециклажу враћа у производни процес (%) • Удео материјала који се сакупља и директно поново употребљава (%) • Растављање производа <ul style="list-style-type: none"> - Тачке састављања су лако доступне, а производ се лако уклања, без оштећења других делова зграде (да/не) - Производ се може лако раставити уз помоћ стандардних алата, без оштећења околних производа (да/не) - Тачке састављања производа и методе монтаже су стандардизоване (да/не) • Количина отпада за депонију (kg) • Ефикасност процеса рециклаже на крају животног века (%) • количина отпада насталог током процеса рециклаже производа (kg)

Код фазе изградње објекта највећи утицај на прорачун индикатора има однос између примарних и секундарних сировина искоришћених за производњу свих делова објекта. У фази употребе процењује се животни век уграђених производа у односу на просечан функционални животни циклус сличних производа на тржишту. У фази рушења, односно краја животног века објекта, индексу циркуларног потенцијала у

⁵³ Упутства за коришћење платформе Мадастер (*Madaster*), као и објашњења позадине свих прорачуна у оквиру ње, су доступна на интернет страници под линком: <https://docs.madaster.com/de/en/knowledge-base/calculations.html>.

највећој мери доприноси количина материјала или производа који на неки начин могу поново да се употребе или врате у процес производње, односно избегавање било каквог отпада.

На основу унетих података добија се неколико вредности индикатора циркуларног потенцијала, а које се односе на појединачне индикаторе за сваки производ односно компоненту, индикаторе на нивоу целог објекта према фазама животног циклуса, укупни индикатор за цео животно век објекта који узима у обзир све претходно наведене.

Прорачун индикатора циркуларне економије се заправо заснива на одређивању вредности којом се удаљава од стандардног тока линеарне економије и рачуна се према следећој једначини:

$$CI = 1 - LFI \times F(X)$$

где је CI - индикатор циркуларне економије, LFI означава ток линеарне економије, а $F(X)$ временски период функционалне употребе производа у објекту, изражено у годинама.

За прорачун према представљеној једначини, неопходно је првенствено утврдити ток линеарне економије чији прорачун захтева узимање у обзир више фактора чији се однос рачуна према следећој једначини:

$$LFI = \frac{V + W}{2M + \frac{W_F - W_C}{2}}$$

у којој V означава количину употребљених примарних сировина у оквиру материјала односно производа употребљених у фази изградње. За исте материјале затим се одређује вредност W која се односи на количину отпада који настаје у фази рушења. Удео примарних сировина прорачунава се према једначини:

$$V = M (1 - F_R - F_U - F_S)$$

где је M маса производа означена у килограмима, а остали фактори се односе на процентуални удео порекла сировина. F_R се односи на процентуални удео масе производа направљен употребом рециклираних сировина, док F_U представља процентуални удео масе производа направљен од поновно употребљених сировина, а F_S удео материјала органског порекла.

Количина отпада W изражава се у килограмима и прорачунава према следећој једначини:

$$W = W_0 + \frac{W_F + W_C}{2}$$

која се заснива на додатним прорачунима количине неповратног отпада - W_0 , отпада који настаје током даљег процеса рециклаже производа - W_C и количине отпада који настаје приликом враћања у фазу производње односно претварања у секундарну сировину - W_F .

Прорачун количине отпада који се одлаже на депонију се рачуна према једначини:

$$W_0 = M (1 - C_R - C_U)$$

на основу масе производа у килограмима – M , процентуалног удела материјала који се сакупља и кроз рециклажу враћа у производни процес - C_R и процентуалног удела материјала који се сакупља и директно поново употребљава - C_U .

Количина отпада која се ствара током процеса рециклаже материјала, рачуна се на основу једначине:

$$W_F = M \frac{(1 - E_F) F_R}{E_F}$$

где M означава масу материјала у килограмима, E_F – ефикасност процеса рециклаже а F_R – процентуални удео материјала који ће након обраде бити могуће користити као рециклирану сировину у следећем животном циклусу.

У случају иницијалног процеса рециклаже у зависности од ефикасности генерише се одређена количина отпада која се прорачунава према следећој једначини:

$$W_C = M (1 - E_C) \times C_R$$

за коју је потребно поново унети масу материјала у килограмима – M , ефикасност процеса рециклаже - E_C и процентуални удела материјала који се сакупља и кроз рециклажу враћа у производни процес - C_R .

Након прорачуна тока линеарне економије, за утврђивање индикатора тока циркуларне економије, према првој наведеној једначини, неопходно је извршити и прорачун фактора $F(X)$ који се односи на број година употребе функционалне јединице, односно очекиваног животног века производа у оквиру зграде и прорачунава применом једначине:

$$F(X) = \frac{0,9}{X}$$

где се вредност X прерачунава једначином:

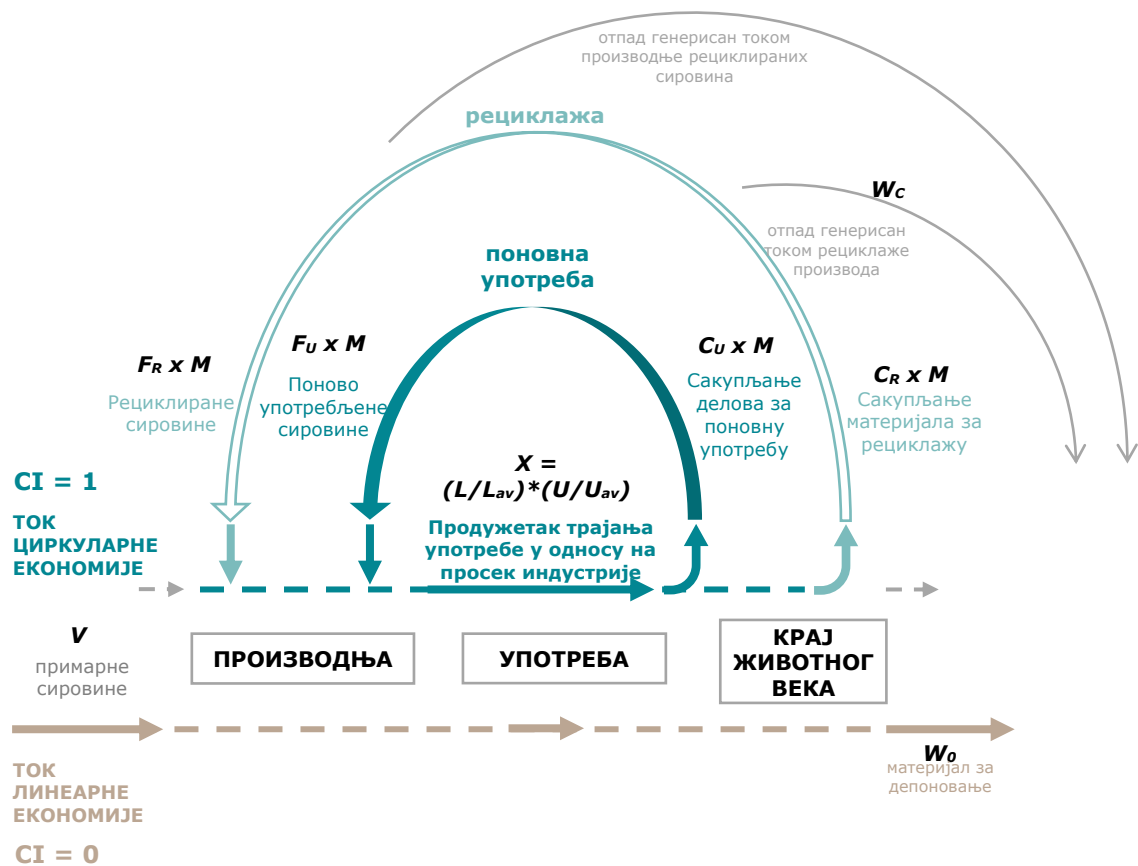
$$X = \frac{L}{L_{av}}$$

на основу конкретног просечног животног века производа у односу на специфичности конкретног пројекта - L и животног века сличних производа базираној на просеку на нивоу целе индустрије - L_{av} .⁵⁴

У циљу јаснијег разумевања претходно наведених једначина које се користе за нумерички прорачун индикатора циркуларног материјала на Слици 15 приказана је разлика између тока линеарне и циркуларне економије у односу на фазе производње, употребе и краја животног циклуса. Илустрација објашњава и које појединачне

⁵⁴ Madaster. (2021). *Madaster Circularity Indicator*, стр. 15-16.

вредности и прорачуне је неопходно узети у обзир како би се одредило до које мере се свака уграђена компонента удаљава од тока линеарне економије, односно приближава току циркуларне економије кроз различите могућности повратка сировина са краја животног циклуса у фазу производње, као и продужетак трајања фазе употребе.



Слика 15. Графички приказ нумеричке процене основног индикатора циркуларног потенцијала (Аутор)

Претходно представљене једначине користе се за прорачун појединачних материјала који се уграђују у компоненте објекта. Међутим комплексност зграда ретко подразумева употребу грађевинских компоненти које се сачињене од само једног материјала, због чега се, након спровођења претходних прорачуна за појединачне индикаторе сваког материјала, одређује кумулативна сума компоненти.

Укупан удео количине употребљених примарних сировина у фази изградње, прорачунава се једначином:

$$V = \sum_x V_{(x)}$$

на основу претходно изведених појединачних прорачуна

$$V_{(x)} = M_{(x)}(1 - F_{R(x)} - F_{U(x)} - F_{S(x)})$$

За прорачун укупне количине генерисаног отпада, у зависности од начина третирања на крају животног века користи се једначина:

$$W = \sum_X \left(W_{0(X)} + \frac{W_{F(X)} + W_{C(X)}}{2} \right)$$

након претходно спроведених појединачних прорачуна према

$$W_{0(X)} = M_{(X)}(1 - C_{R(X)} - C_{U(X)} - C_{C(X)} - C_{E(X)})$$

$$W_{C(X)} = M_{(X)}(1 - E_{C(X)}) C_{R(X)}$$

$$W_{F(X)} = M_{(X)} \frac{(1 - E_{F(X)}) F_{R(X)}}{E_{F(X)}}$$

Збирни резултат за ток линеарне економије свих материјала у оквиру уграђених компоненти, се на основу претходног прорачунава према следећој једначини:

$$LFI = \frac{V + W}{2M + \sum_X \frac{W_{F(X)} - W_{C(X)}}{2}}$$

Индикатор циркуларног потенцијала фондације Елен Мек Артур изражава се нумеричком вредношћу од 0 до 1, где 0 означава ток потпуно линеарне економије, док се један односи на ток економије који је у потпуности циркуларан. Што је резултат ближи броју један, то је тај материјал, производ или компонента повољнија са аспекта циркуларне економије. У оквиру прорачуна на платформи Мадастер, вредност се изражава у истом односу, само се резултати износе процентуално у распону од 0 до 100% за сваку од фаза животног циклуса. Укупни резултат Мадастер индикатора циркуларног потенцијала не представља просечни резултат три фазе животног циклуса, већ на њега већи утицај имају резултати прорачуна за фазу изградње и фазу рушења, израчунати према претходно представљеним једначинама. У софтвер се уносе подаци које одговарају свакој од наведених математичких вредности, а крајњи резултат се не добија у форми детаљног нумеричког прорачуна већ графичког приказа.

У зависности од процентуално израженог резултата индикатора циркуларног потенцијала, зграда је ближа линеарном (0%) или циркуларном току (100%). Зграда која је у потпуности изграђена употребом примарних сировина, кратког животног века, где након њеног рушења већина материјала завршава на депонији означава се као линеарна зграда са ниским индикатором циркуларног потенцијала и резултатом од 0 до 10%. Зграда која се у потпуности састоји од материјала и производа који се могу поново користити у будућност, је „кружна“ зграда са максималним резултатом циркуларног потенцијала од 100%, чак и ако је њен функционални животни циклус краћи од просека. У пракси зграде ће имати оцене у распону од 0-100%, јер се увек ради о мешавини примарних и секундарних сировина, различитог века трајања, које ће делимично моћи поново да се искористе док ће други део постати отпад на крају животног циклуса.

5.1.2 Индекс демонтаже

Систематизацијом сазнања из анализираних литературе и различитих приступа за нумерички прорачун индикатора демонтаже објеката или његових делова, као најрелевантнији за прорачун фасадних омотача који су предмет овог истраживања одабран је индекс демонтаже развијен од стране Савета за зелену градњу Холандије (*Dutch Green Building Council*). Овај прорачун користи се у оквиру платформе Мадастер, и повезан је са претходно описаним параметрима циркуларног потенцијала који се могу израчунати у овом софтверу. Наведени нумерички прорачун базиран је на методологији процене индекса демонтаже која је развијена специфично за зграде и њихове компоненте.

Приликом уноса података у платформу, за сваки унети производ се дефинишу и параметри који се односе на међусобне везе појединачних компоненти од којих су сачињени. Природа веза се описује и сврстава у понуђене категорије које имају претходно одређене нумеричке вредности у распону од 0 до 1.⁵⁵ Везе чије су карактеристике мање повољне са аспекта демонтаже имају вредности ближу 0, док су везе чија је демонтажа лако остварива ближе вредности 1 (*Dutch Green Building Council*, 2021).

Индекс демонтаже компоненти, целих производа и система се процењује на основу укупне вредности одређене на основу 4 појединачна критеријума и њиховог бодовања (од 0 до 1):

Тип везе (*Connection Type - CT*)

Са аспекта циркуларне економије демонтажа међусобних веза производа је повољнија уколико је остварена употребом механичких средстава, са или без додатних елемената, или директним интегралним везама које се могу лако раставити. Мање повољне су меке или чврсте хемијске везе чија демонтажа узрокује значајну штету на компонентама и елементима у оквиру производа. Како се зграде састоје од бројних међусобно повезаних и различитих компоненти, није могуће проценити јединствен тип сваке везе, због чега се у случају превеликог броја веза за прорачун у обзир узима вредност веза главних носећих елемената сваког система. Када се процењује индекс демонтаже појединачне компоненте или система, као у овом истраживању, у обзир се узимају примарне везе у сваке од компонената. За процену индекса демонтаже, у зависности од типа везе, додељују се следеће вредности:

- Сува веза = 1 бод;
- Веза са додатним елементима = 0,8;
- Директна интегрална веза = 0,6;
- Меко хемијско једињење = 0,2;
- Чврсто хемијско једињење = 0,1.

⁵⁵ Dutch Green Building Council. (2021). *Circular Buildings - a measurement method for disassembly potential 2.0*, стр. 13-16.

Приступачност везе (*Connection accessibility – CA*)

Овај критеријум се односи на физичку доступност односно приступачност веза елемената и компоненти. Са аспекта ЦЕ најповољније је омогућавање лаког доласка до везе и њене демонтаже, без изазивања оштећење околних компоненти. Критеријум се бодује у односу на то колико додатних радова приступање вези захтева, односно колика се штета ствара на елементима у окружењу. Уколико узмемо у обзир да се у односу на различити животни век производа које се уграђују у сваку зграду, замена једног врши више пута него неког другог, овај критеријум је примаран у односу на остале. Према методологији прорачуна индекса демонтаже приступачност везе се бодује у зависности од тога да ли је она:

- Слободно доступна, не захтева додатне радове = 1 бод;
- Доступна уз додатне радове које не узрокују штету = 0,8;
- Доступна уз додатне радове са потпуно поправљивим оштећењем = 0,6;
- Доступна уз додатне радове са делимично поправљивим оштећењем = 0,4;
- Није доступна односно демонтажа узрокује непоправљиву штету на производу или околним производима = 0,1.

Независност укрштања (*Independency - ID*)

У оквиру сваког система у згради, а нарочито код фасадног омотача, производи или елементи су често преклопљени или чак у потпуности интегрисани са другима. Ово отежава демонтажу на крају животног века система, као и замену појединачних компоненти чији је животни век краћи. С тога је за очување елемената са дужим животним веком значајна њихова независност од компоненти које се чешће мењају. Критеријум независности утиче на могућност демонтаже одређеног склопа, у зависности од тога до које мере су појединачни елементи и компоненте физички укрштени. Овај критеријум значајан је и за процену независности слојева зграде односно њених система, а одређује се према следећим вредностима:

- Без укрштања, модуларно одвајање различитих компоненти и елемената = 1 бод;
- Повремена укрштања различитих компоненти или елемената = 0,4;
- Потпуно укрштање и интеграција различитих компоненти или елемената = 0,1.

Геометрија ивице (*Geometry of product edge - GPE*)

Критеријум се односи на физичке ивице компоненти и њихових елемената, у зависности од тога да ли су блокиране од стране елемената који их окружују. Отворена геометрија ивице је најповољнија са аспекта демонтаже, јер подразумева да нема препрека за уклањање елемента. Делимично преклопљена или затворена ивица је ограничавајући фактор у демонтажи, јер је у различитом обиму блокирана од стране других елемената, што је чини мање повољном са аспекта ЦЕ. Геометрија ивице се вреднује на следећи начин:

- Отворена, нема препрека за посредно уклањање компоненти или елемената = 1 бод;
- Преклопљена, делимично затворена односно блокирана од стране других компоненти или елемената = 0,4;
- Затворена, потпуно блокирана од стране других компоненти или елемената = 0,1.

На основу процењених критеријума и додељивање бодова за везе које се истражују, израчунава се укупни индекс демонтаже фасадног система као просечан резултат појединачних прорачуна демонтаже свих компоненти од којих је састављен.

Индекс демонтаже појединачне компоненте (DP_p), прорачунава се на основу нумеричке процене потенцијала демонтаже везе (DP_c) и потенцијала демонтаже склопа (DP_{cp}), који се рачунају применом једначине

$$DP_c = \frac{2}{\frac{1}{CT} + \frac{1}{CA}}$$

где се СТ односи на тип везе, а СА на њену приступачност, и једначине

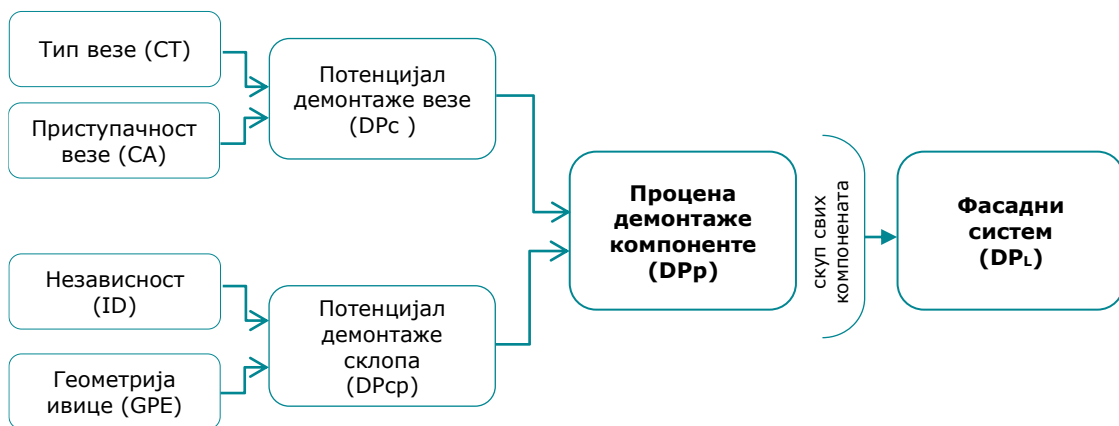
$$DP_{cp} = \frac{2}{\frac{1}{ID} + \frac{1}{GPE}}$$

где ID представља оцену независности везе, а GPE геометрију ивица.

Тиме се индекс демонтаже појединачне компоненте (DP_p), рачуна према једначини

$$DP_p = \frac{2}{\frac{1}{DP_c} + \frac{1}{DP_{cp}}}$$

Применом претходно наведених прорачуна долази се до укупног индекса демонтаже фасадног система (DP_l), који се рачуна се као просечна вредност индекса демонтаже појединачних компоненти. Утицај и међусобна повезаност претходно описаних прорачуна на укупни индекс демонтаже фасадног система приказан је на Слици 16.



Слика 16. Графички приказ процене индекса демонтаже фасадног система (Аутор према Dutch Green Building Council, 2021)

5.1.3 Оцена животног циклуса фасадног омотача

Оцена животног циклуса (енг. *LCA - Life Cycle Assessment*) представља најраспрострањенији метод за утврђивање процене утицаја одређеног производа на животну средину.⁵⁶ Метод подразумева свеобухватну анализу утицаја током целокупног животног циклуса а обухвата процесе екстракције сировина из природног окружења, производње материјала и компоненти, транспорта, уградње, употребе, одржавања па до завршне фазе одлагања или рециклаже (Crawford, 2011). Употреба методе LCA је током последње деценије широко заступљена у грађевинској индустрији и користи се за процену појединачних материјала или грађевинских склопова, а у архитектури најчешће за процену животног циклуса целог објекта (Pomponi & Moncaster, 2017)

Утицај изграђених објеката на животну средину је дефинисан стандардом SRPS EN 15978:2016 - Одрживост грађевинских објеката - Оцењивање перформанси зграда у вези са животном средином - Методе прорачуна. Овај стандард је уз стандарде SRPS EN 15643-1:2016 и SRPS EN 15643-2:2016 Одрживост грађевинских објеката - Оцењивање одрживости зграда – Део 1: генерални оквир и Део 2: Оквир за оцењивање перформанси у вези са животном средином, део групе стандарда који се односе на одрживост грађевинских објеката на нивоу појединачних елемената али и целог објекта.

Упутства и захтеви за спровођење оцене животног циклуса дефинисани су стандардима ISO14040 и ISO14044. Спровођење ЛЦА прорачуна за целокупан објекат врши се у складу са стандардом SRPS EN 15978:2016. Овим стандардом утврђује се метода прорачуна заснована на оцењивању животног циклуса за процену перформанси зграде у вези са животном средином. Такође приказује се и начин извештавања о резултатима оцењивања. Приступ обухвата све фазе животног циклуса зграде и заснован је на подацима добијеним из декларације производа о заштити животне средине и модулима информација који су у њима дефинисани.

Категорије утицаја грађевинских материјала на животну средину дефинисане су стандардима ЕУ, а подразумевају еколошке утицаје материјала на глобално загревање, озонски омотач, потрошњу енергије, повећање киселости земљишта, смањење хранљивих материја у земљишту и води, уништавање природних станишта, употребу земљишта, загађење токсичним материјалима и црпљење необновљивих ресурса. Нови стандарди одрживог развоја захтевају детаљну процену животног циклуса свих појединачних производа или компоненти који се приказују у оквиру Декларација производа за животну средину, као што је објашњено у Поглављу 4.

Методолошки поступак оцене животног циклуса објекта подразумева неколико корака: спецификацију предмета анализе, одређивање сценарија животног циклуса објекта, дефинисање примењених производа и материјала уграђених у објекат уз прорачун њихове количине, проналажење података о утицајима на животну средину за сваки производ и материјал, прорачун утицаја на животну средину у односу на количине и податке о материјалима, формирање извештаја и валоризацију добијених резултата

⁵⁶ Заштита животне средине је у Србији дефинисана је Законом о заштити животне средине (Службени гласник РС, бр.135/04, 36/09, 6 72/09, 43/11- одлука УС, 14/16, 76/18, 95/18) и Законом о стратешкој процени утицаја на животну средину (Службени гласник РС, бр.135/04 и 88/10).

(Славковић, 2016). Оцена животног циклуса зграда обухвата три основне фазе А (производња и уградња), Б (употреба) и Ц (рушење) и фазу Д која пружа додатне информације о могућностима након краја животног века. Свака фаза је подељена на неколико информационих модула:

ФАЗА А - дели се на фазу производње и фазу уградње.

Фаза производње обухвата информационе модуле А1, А2 и А3:

- А1: Екстракција сировина из природног окружења, која се врши на различите начине и процена утицаја процеса екстракције на биљни и животињски свет, као и ерозију земљишта.
- А2: Транспорт за који се рачуна потрошња ресурса у виду нафте, електричне енергије или гаса употребљена приликом превоза сировина са места екстракције до места где се даље употребљавају
- А3: Обрада која подразумева потрошњу енергије за механизацију током индустријског процеса производње, као и паковање коначног производа.

Фаза уградње обухвата информационе модуле А4 и А5:

- А4: Транспорт количине грађевинског материјала или производа потребних за изградњу зграде, од производног погона до градилишта, укључујући било какво међу складиштење и дистрибуцију, као и све повезане губитке због транспорта. Обухвата транспорт грађевинске опреме мобилисане за зграду грађевинских радова, али искључује превоз лица/особља до градилишта.
- А5: Уградња се односи на коришћење различитих машина и алата уз потрошњу фосилних горива приликом изградње објекта уградње материјала и производа (енергија, вода), помоћних инсталационих материјала и одлагање било које количине отпада произведене током тог поступка. Такође укључује све захтеве за складиштење производа на лицу места пре уградње. Модул А5 такође укључује све потребне земљане радове и све активности везане за изградњу на лицу места, нпр. сав транспорт унутар градилишта и привремене радове на градилишту и ван њега.

ФАЗА Б садржи информационе модуле Б1, Б2, Б3, Б4, Б5, Б6 и Б7:

- Б1: Употреба која се односи на у животну средину током нормалног коришћења зграде током референтног периода студије односно предвиђеног животног века.
- Б2: Одржавање подразумева активности које се спроводе ради одржавања потребних функционалних и техничких перформанси компоненте зграде. Обухвата превентивно и редовно одржавање: планирано чишћење, сервисирање, замену или поправку истрошених, оштећених или деградираних делова компоненти зграде.
- Б3: Поправка односно радови који се изводе да би се компонента зграде вратила у жељено функционално и техничко стање.
- Б4: Замена оштећених компоненти или њихових делова које се не могу поправити, или које су дошле до краја свог животног века који је одредио произвођач. Напомена: замена комплетних компоненти зграде услед оштећења се пријављује у овом модулу, док се замена комплетних компоненти као део планираног програма реновирања зграде односи на модулу Б5 (обнова).
- Б5: Реконструкција или обнова подразумева радови који се обављају при обнови или пренамени зграде или делова зграде.

- Б6: Оперативна употреба енергије односно енергија која се користи у нормалном раду зграде током целокупног употребног века објекта, како би се испуниле различите функције потребне за коришћење зграде (применљиво за рад интегрисаних техничких система процеса према ЕН 15603:2008 за грејање, вентилацију и хлађење осветљење, снабдевање хладном и топлим водом, пумпе и аутоматизацију итд.
- Б7: Оперативна употреба воде се односи на потрошњу воде која се користи у нормалном раду зграде током употребног века (применљиво на употребу у системима који троше воду за пиће, топлу воду и хлађење, санитарну воду, и за интегрисане системе као што су фонтане и базени.

ФАЗА Ц садржи информационе модуле Ц1, Ц 2, Ц 3 и Ц 4:

- Ц1: Деконструкција односно демонтажа или рушење објекта или његових делова. Укључује активности на лицу места и неопходне активности ван локације.
- Ц2: Транспорт који се односи на превоз отпада од места рушења до места сортирања отпада.
- Ц3: Обрада отпада односно сортирање или прерада отпада од рушења и припрема за даље коришћење односно рециклажу или сагоревање у циљу повратака енергије.
- Ц4: Одлагање на депонију.

ФАЗА Д - у досадашњој методологији процене животног циклуса последња фаза подразумева поступке демонтаже у циљу омогућавања поновне употребе или рециклаже уграђених материјала.

Преглед фаза животног циклуса и модула у оквиру њих приказан је на Слици 17.

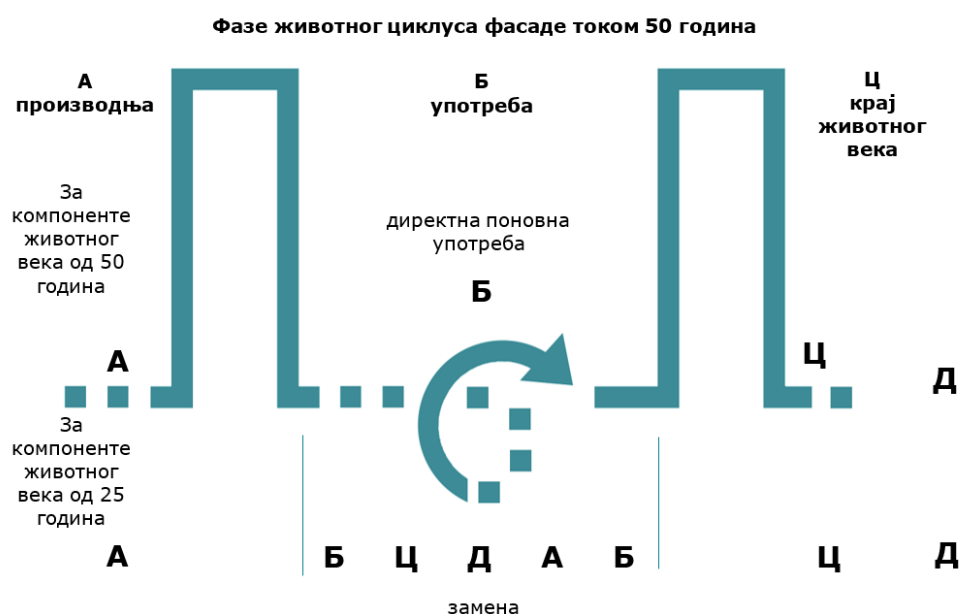
Границе система процене животног циклуса														Додатне информације ван граница основног система
Фазе животног циклуса објекта														
Фаза А					Фаза Б					Фаза Ц				Фаза Д
Производња			Уградња		Употреба					Рушење објекта				Поновна употреба
А1	А2	А3	А4	А5	Б1	Б2	Б3	Б4	Б5	Ц1	Ц2	Ц3	Ц4	Д
Добијање сировина	Транспорт до места обраде	Обрада и Производња	Транспорт до градилишта	Изградња и уградња	Употреба	Одржавање	Поправка	Замена	Обнова	Рушење	Транспорт до места обраде отпада	Обрада отпада	Одлагање	Поновна употреба
					Б6	Потрошња енергије								Рециклажа
					Б7	Потрошња воде								

Слика 17. Фазе животног циклуса зграде и њима припадајућих модула (Аутор)

5.1.3.1 Прилагођавање основне методе LCA за прорачун два животна циклуса фасаде

Претходно анализирана научна истраживања указују на ограничења примене стандардне методологије оцене животног циклуса у контексту примене циркуларне економије на зграде (Lam, Claes, & Ritzen, 2022; van Stijn, Malabi Eberhardt, Wouterszoon Jansen, & Meijer, 2021). Она се угледају у немогућности сагледавања више циклуса различитих материјала и компоненти који се уграђују у објекте (Dräger, Letmathe, Reinhart, & Robineck, 2022). Примена стандардних граница система у поступку оцене животног циклуса, представља проблем због немогућности провере оптимизације циркуларног потенцијала у прорачуну који је ограничен на само један животно циклус сваке компоненте.

У односу на циљеве овог истраживања који се односе на оптимизацију фасадних омотача кроз процену утицаја примењених стратегија циркуларне економије на цео животно век фасаде, неопходно је прилагођавање основне методе оцене животног циклуса. Она се спроводи за животно век фасаде од 50 година, што подразумева да ће одређене компоненте у њој имати два животна циклуса, односно замену након 25 година. За компоненте које могу да се употребе у тренутку главне замене фасадног омотача, предвиђа се поновна употреба односно продужетак употребе. Замена компоненти се изражава у укупној фази употребе Б целог фасадног сегмента након 25 година. За компоненте које ће тада бити замењене подразумева се њихова демонтажа из фасадног сегмента, обрада у циљу остваривања рециклаже или одлагање на депонију односно њихова појединачна фаза Ц и Д. С обзиром да ће те компоненте бити замењене новим, за њих се узима у обзир фаза производње А и даље употребе у фасади – фаза Б, до следећег тренутка замене који ће опет подразумевати фазе Ц и Д. За компоненте које ће након 25 година бити директно поново употребљене избегавају се све наведене фазе, већ се у обзир узима само модул који се односи на њихово одржавање (Слика 18).



Слика 18. Графички приказ прилагођене методологије оцене животног циклуса за одређивање утицаја фасадног сегмента на животну средину током животног века од 50 година (Аутор)

Подаци о оцени животног циклуса основних и оптимизованих модела

- **Фазе:** А, Б, и Ц (уз осврт на фазу Д)
- **Модули:** А1, А3, Б1, Б4, Ц1, Ц3, Ц4, Д
- **Животни век:** 50 година
- **Функционална јединица:** сегмент фасадног омотача

Дефинисани модели се испитују у односу на сегмент фасаде како би могле да се утврде естетске карактеристике фасадних омотача у односу на димензије фасадних поља и односа транспарентних и нетранспарентних површина. Основни, а потом и оптимизовани модели се испитују на сегменту фасаде ширине 7,50 m и висине 12,00 m, чије су димензије одређене у односу на растер стубова и спратну висину хипотетичког пословног објекта који је детаљније објашњен у Поглављу 6.

- **Предвиђени сценарио животног века објекта**

У тренутку промене целог фасадног омотача предвиђа се сценарио краја животног века који подразумева потпуну демонтажу фасаде. Замена се процењује као део сценарија када се само део компоненти фасадног система мења односно одлаже, али се основна конструкција још увек користи.

- **Инвентар:** дефинисан посебно за сваки од основних модела, а затим и за њихове оптимизоване варијанте у Поглављима 5.2 и 5.4.
- **Индикатори утицаја на животну средину:**
 - Потенцијал глобалног загревања - GWP tot се односи на укупни потенцијал глобалног загревања који се добија као збирни резултат 3 индикатора (фосилно - GWP f, биогено-GWP b и коришћење земљишта GWP-luc). Глобално загревање је феномен који се односи на пораст просечне површинске температуре Земље, пре свега због све већег нивоа емисије гасова са ефектом стаклене баште, од којих се посебно издваја угљен-диоксид.
 - Потенцијал ацидификације – AP се односи на таложење киселина приликом реакције киселих гасова са водом и земљиштем. Закисељавање је еколошки проблем узрокован закисељеним рекама/потоцима и земљиштем због антропогених загађивача ваздуха као што су амонијак, сумпорни и азотни оксиди. CO₂, NH₃ и NO_x. Закисељавање негативно утиче на водене и копнене животиње, као и биљке.
 - Потенцијал еутрофикације - E_{pf} се генерално изражава кроз 3 индикатора који се односе на слатку воду E_{pf}, слану воду E_{pm} и земљиште E_{pt}. Еутрофикација је појава у којој су копнене воде оптерећене вишком хранљивих материја услед хемијских ђубрива или испуштених отпадних вода, што изазива недостатак кисеоника у води и има негативан утицај на живи свет у њој.
 - Потенцијал формирања фото-хемијског озона – POCP се односи на реакцију антропогених загађивача у ваздуху са сунчевом светлошћу, што доводи до повећања концентрације озона на нивоу земље, што изазива формирање хемијских једињења који су опасни по људско здравље.

- Потрошња минералних ресурса – ADPe се односи на екстракцију необновљивих сировина из земљине коре.
- Потрошња фосилних ресурса – ADPf се односи на сагоревање фосилних горива чија употреба подразумева потрошњу необновљивих ресурса који се користе за производњу енергије.
- Укупна потрошња обновљивих извора енергије – PERT
- Укупна потрошња необновљивих извора енергије – PENRT
- Одлагање штетног отпада - HWD
- Одлагање неопасног отпада – NHWD
- Одлагање радиоактивног отпада – RWD

5.2 ПРОРАЧУН ФАСАДНОГ СЕГМЕНТА ОСНОВНИХ МОДЕЛА

5.2.1 Инвентар за прорачун фасадних сегмената основних модела МА и МВ

На основу систематизације сазнања из претходно спроведених анализа у Поглављу 4, одабрани су материјали, производи и извори података који ће се користити у процени резултата оптимизације у оквиру нумеричког прорачуна. За све одабране производе користе се декларације производа за животну средину према новом стандарду, док се за оптимизоване моделе додатно инсистира на употреби најновијих декларација објављених у последње две године. Највећи број декларација које се користе као основ нумеричког прорачуна, прикупљен је од самих произвођача, што се кроз разговоре са представницима фасадних произвођача показало и као пут ка добијању најрелевантнијих информација.⁵⁷

У односу на претходно указана ограничења декларација готових фасадних система, у даљем истраживању, примењиваће се декларације појединачних производа односно компоненти и материјала од којих је фасадни систем зид завеса састављен. Иако је на овај начин занемарена потрошња енергије током процеса састављања елемената, претпоставља се да су разлике мале, јер се свакако ради о фасади истог произвођача. Утицај процеса састављања елемената би у већој мери зависио од тога да ли се за прорачун користе подаци о процесу производње у Србији или некој другој Европској земљи, али с обзиром да се истражују производи који су тек пласирани на европско тржиште, ови подаци неће бити предмет даљег истраживања.

Свакој од компоненти фасадних сегмената (приказане у Поглављу 4.5) додељује се ознака која се користи у табелама детаљних резултата прорачуна приказаних у Прилогу 5 и у оквиру текстуалног дела докторске дисертације. Ознаке које се додатно користе за врсту поља деле се на ТИ за транспарентна поља и ПИ за поља испуне.

⁵⁷ Декларације производа који се користе за прорачун основних модела МА и МВ табеларно су приказане су у Прилогу 4 или су наведени веб-сајтови на којима су доступне.

Прорачун тачних количина уграђених материјала за елементе у оквиру фасадног сегмента основних модела изведен је на основу детаљне спецификације фасадних система AF UDC 80 SG и AF UDC 80.HI и декларација које је за потребе овог истраживања издала компанија *Schüco*.⁵⁸ Кроз анализу декларација изведени су закључци о тежини односно количинама уграђеног материјала у односу на дужне, квадратне или кубне метре у зависности од појединачних елемената. Једина разлика је у томе што декларација подразумевају троструке изолационе стаклене панеле, док се у основним моделима користе двоструки. Ипак за прорачуне везане за њих релевантни су квадратни метри, који се касније повезују са одабраним стакленим пакетима на основу чега се прорачунава количина материјала и утицаји на животну средину.

Заједнички инвентар за оба основна модела су алуминијумски профили главне носеће конструкције фасадног омотача, двоструко изоловани стаклени панели у оквиру транспарентних поља, минерална вуна у склопу нетранспарентних поља испуне и заптивка:

- Алуминијумски профили – Ознака: Алуминијум EPEA

За све вертикалне и хоризонталне алуминијумске профиле транспарентних поља и поља испуне у основним моделима користи се податак који се односи на тренутни европски просек производње елоксираних алуминијумских профила из базе података EPEA доступне у оквиру платформе *Madaster*.⁵⁹ Удео рециклираних сировина у фази производње алуминијумских профила је 40%, док је употребљено 60% примарних сировина. Иако је установљено да је ово изузетно низак удео рециклираног материјала у фази производње, он заправо одговара тренутном просеку у фасадној индустрији у Србији, што је потврђено кроз истраживање тржишта и доступних производа приказаних у Поглављу 4. Претпоставља се да се на крају животног циклуса скупља око 96% почетно уграђеног материјала које је могуће рециклажом вратити у процес производње, али се одређени део материјала губи у овом поступку, јер је ефикасност процеса рециклаже ограничена на 95% (процена која се користи у декларацијама свих алуминијумских профила доступних на тржишту). Количина алуминијума израчуната је на основу података који су добијени од произвођача у зависности од фасадног система модела МА или МВ. На основу количине у килограмима рачунају се подаци о улазним и излазним токовима материјала и индикатор циркуларног потенцијала, док се подаци у оквиру процене животног циклуса рачунају на основу волумена, узимајући у обзир да је тежина алуминијума 2700 kg/m³.

- Двоструко изолован стаклени панел - Ознака: DGU 66.2-16-8 P

За транспарентна поља (ТИ) користи се двоструко изолован панел произвођача *Saint-Gobain* са равним стаклом *Planiclear*. Панел се састоји од: спољњег слоја

⁵⁸ Декларације за фасадне системе основних модела на основу којих се изводе закључци о количинама уграђених материјала за фасадни сегмент основних модела приказане су у Прилогу 3.

⁵⁹ База података *EPEA* генерише све доступне податке о истом типу производа у већем броју држава Европе и рачуна њихов просек. Резултат добијен за алуминијумске профиле који се користе у оквиру докторске дисертације сличан је подацима доступним у бази *Okobaudat*. Скуп података је одабран јер на основу количине секундарних сировина у фази производње и третирању на крају животног века одговара тренутној пракси у Србији.

ламинираног стакла изведеног од 2 слоја равног стакла од по 6mm, између којих се налази акустична фолија (2PVB Silence 0.76mm); нискоемисионог премаза *COOL-LITE SKN* на позицији #4; испуне аргоном у комори дебљине 16mm; унутрашњег равног стакла дебљине 8mm и везивних средстава. Укупна дебљина стакленог пакета износи 36,76mm. Декларација производа за животну средину за овај стаклени пакет подразумева све фазе животног циклуса равног стакла, процес ламинирања, премазе и фолије као и склапање стакленог пакета. Ни у једном од делова пакета нема удела рециклираних сировина у фази производње. За стаклени пакет у целости, нема бенефита на крају животног века у фасади, јер је предвиђено одлагање на депонију. Количина материјала за нумеричке прорачуне израчуната је на основу површине стаклених панела у односу специфичну тежину од 50,8 kg/m².

- Термоизолација - Ознака: Минерална вуна К

У пољима испуне код оба основна модела као термоизолација налази се минерална вуна дебљине 15mm. Иако се ради о материјалу који је теоретски врло повољан са аспекта циркуларне економије, код основних модела користи се минерална вуна у којој је заступљено 98% примарних сировина, према декларацији произвођача *Knauf* за производњу у Србији. На крају животног циклуса се према декларацији само 2% користи у процесу рециклаже, што значи велики губитак материјала.

- Заптивка - Ознака: EPDM

У оба фасадна система се налази гумена заптивка, чија се позиција и тежина разликује у односу на фасадне системе основних модела. Подаци који се користе за нумерички прорачун су адаптирани у односу на стандардне информације из интернационалне базе података *Ökobaudat*.⁶⁰ Декларација производа са базе подразумева тежину од 0,43 kg/m, која је затим прилагођена у односу на специфичности фасадних система који су предмет истраживања, а подразумевају мање повећање по метру дужном код модела А, односно смањење код основног модела В.

У односу на разлике између основних модела МА и МВ за сваки од њих дефинише се и додатни инвентар у односу на специфичности фасадног система. Највећа разлика потиче од поља испуне, где је код основног модела МА последњи спољашњи слој двоструки термоизолациони стаклени панел, док је код модела МВ то алуминијумски сендвич панел. Специфичност везе стакла и алуминијумске конструкције код модела А подразумева и силиконску везу, док фасадни систем модела В обухвата термички прекид између елмената зид-завесе.

Специфични инвентар за основни модел МА:

- Двоструко изолован стаклени панел - Ознака: DGU 8t-16-6 P

У оквиру поља испуне (ПИ) користи се двоструко изолован панел произвођача *Saint-Gobain* са равним стаклом *Planiclear*. У оквиру панела се налазе: спољњи слој ојачаног стакла дебљине 8mm, нискоемисини премаза на позицији #2; испуна

⁶⁰ Декларација производа коришћена за основ прорачуна за заптивку EPDM доступна је на линку: <https://oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?uuid=c445279d-1358-4e36-9f0d-7ecfe8abda81&version=20.19.120>.

аргоном у комори дебљине 16mm; унутрашње ламинирано стакло који се састоји од 2 слоја равног стакла дебљине 6mm. Укупна дебљина стакленог пакета је 30mm, док је специфична тежина 35 kg/m². Прорачун уграђене количине материјала рачуна се на основу површине. Подаци о процесу производње су исти као и за стаклени пакет транспарентних поља, с обзиром да је пакет сачињен од истог типа равног стакла код кога нема употребе рециклираних сировина. За овај стаклени пакет предвиђени сценарио на крају животног века подразумева одлагање производа на депонију.

- Веза - Ознака: Силикон

Подаци који се користе за нумерички прорачун силиконске везе преузети су директно из интернационалне базе података *Ökobaudat*⁶¹, рачунају се у односу на килограм уграђеног материјала према спецификацијама фасадног система модела А (AF UDC 80 SG).

Специфични инвентар за основни модел МВ:

- Алуминијумски панел- Ознака: Алуминијум Е

За завршни слој поља испуне код модела МВ предвиђа се алуминијумски сендвич панел дебљине 4 mm. Као инвентар користи се декларација производа који је коришћен на високом објекту Ушће 2. За овај производ карактеристично је да се у процесу производње користи 40% рециклираних сировина, док је на крају животног циклуса доступно 95% за поновну рециклажу. Због губљења материјала током процеса рециклаже, на крају је доступно 91% рециклираног алуминијума, а језгро сендвич панела се у потпуности одлаже на депонију. Ефикасност самог процеса рециклаже је 95%, што значи да се током њега губи мања количина материјала сакупљеног након рушења. Количина материјала у оквиру панела се рачуна према тежини од 7,90 kg/m².

- Термички прекид - Ознака: РА66

Специфичност фасадног система AF UDC 80.HI је да се између елемената зид-завесе налази термички прекид који унапређује енергетске перформансе фасадног омотача. Подаци који се користе као инвентар за прорачун термичког прекида су преузети из базе података *Ökobaudat*, а налазе се и у самом софтверу Мадастер платформе. Количина материјала израчуната је на основу декларације за фасадни систем AF UDC 80.HI.

⁶¹ Ограничење декларација које се односе на силиконску везу и термички прекид је што су издате 2018. године, али у доступним базама нема савременијих података. Подаци се могу преузети из јавног дела интернационалне базе *Ökobaudat*, а у оквиру софтвера мадастер у ком је извршен прорачун су директно преузети као сет генеричких података.

5.2.2 Резултати прорачуна индикатора циркуларног потенцијала

5.2.2.1 Порекло и потенцијали поновне употребе материјала

Анализа токова материјала (*MFA-Material Flow Analysis*) односи се на један животни циклус свих материјала од којих су сачињене компоненте фасадног сегмента. Она се односи на анализу количине уграђених материјала у килограмима, као и њихово порекло и предвиђени сценарио поновне употребе на крају животног века. У укупном животном веку од 50 година током кога се анализирају фасадни сегменти, представљени токови свих материјала основних модела А и В се понављају два пута.

Према тежини односно количини уграђених материјала основни модели А и В се разликују за око 330 килограма, колико је фасадни сегмент модела МА (5.129kg) тежи од фасаде модела МВ (4.889kg). Компонента са највећим уделом у маси код фасадног сегмента оба основна модела је двоструки стаклени термоизолациони пакет у оквиру транспарентних поља, а затим следе алуминијумски профили.

Удео стакла у укупној маси основног модела МА је 64,7%, односно 3.375 килограма. Код модела МВ овај удео је нешто већи, односно 68,2% (3.332kg). Код основних модела се користи стакло без икаквог удела секундарних сировина у фази производње, док се на крају његовог животног века предвиђа одлагање на депонију, чиме оно у потпуности припада току линеарне економије. С обзиром да ови стаклени пакети чине преко две трећине масе фасадног сегмента код оба основна модела, евидентан је значај њихове оптимизације.

Ситуација је додатно неповољна код основног модела А, где су стаклени панели присутни и у оквиру нетранспарентних поља испуне, са уделом у маси од додатних 14,7%, односно 768kg. Тиме стакло код МА чини скоро 80% тежине фасадног сегмента. За разлику од тога код модела МВ, у нетранспарентним пољима има 170kg алуминијумских панела, који су оптималнији од стаклених термоизолационих пакета у фази производње и фази рушења. Они су нарочито повољни на крају животног века, јер се тада може рециклирати 161kg материјала. Поред тога, алуминијумски сендвич панели су значајно лакши од стаклених и на истој површини имају скоро 5 пута мању тежину.

Алуминијумски профили представљају 13,4% масе фасадног сегмента модела А (701kg), односно 20,5% код основног модела МВ (1.003kg). Већа количина алуминијума код модела В је последица постојања профила спољашњег оквира, поред унутрашњих профила који су једнаки онима у моделу А. Код основног модела МА око 280kg претходно рециклираног алуминијума је употребљено у фази производње, док је на крају животног циклуса за рециклажу доступно 673kg. Код модела МВ је у фази производње употребљен 401kg рециклираног материјала, док је на крају животног века за поновну употребу доступно 963kg алуминијума. Алуминијумски профили су код оба основна модела компоненте сачињене од највеће количине рециклираних сировина, као и најповољније компоненте са аспекта количине материјала доступне за рециклажу и поновну употребу.

У оквиру поља испуне код оба модела налази се минерална вуна као слој термоизолације тежине 220kg, која чини између 4,2% и 4,5% укупне масе фасадног сегмента. У основним моделима минерална вуна има минималан удео рециклираних

сировина, са само 4kg материјала, док је слична количина доступна за поновну употребу у фази рушења. Заптивка код оба модела чини око 2% укупне тежине фасаде, док још мањи удео у маси имају силикон код модела А (1%) и термички прекид код модела В (1,4%). Сви наведени материјали припадају у потпуности току линеарне економије у свим фазама животног циклуса.

У односу на укупну количину уграђених материјала, модел А је сачињен употребом око 5,5% секундарног материјала (око 285kg), а модел В са 10% искоришћеног секундарног материјала у фази производње (око 473kg). Код модела В око 23% укупно може да се поново користи односно око 1130kg, за разлику од само 13% код основног модела А (783kg).

Анализом свих материјала у основним моделима долази се до закључка да је модел МВ повољнији од модела МА како у фази производње тако и у фази рушења, првенствено због веће количине алуминијума у компонентама профила оквира и завршне облоге у пољима испуне.

5.2.2.2 Индекс демонтаже

Одређивање индекса демонтаже фасада који су предмет истраживања подразумева квантификовање веза у оквиру појединачних компоненти, а затим и њихове међусобне везе у склопу фасадног сегмента. Индекс демонтаже фасадних сегмената прорачунат је у оквиру софтвера на Мадастер платформи, на основу спецификације веза свих компоненти које се дају на почетку уноса података у софтвер.

Код основног модела А анализирају се везе унутрашњих алуминијумских профила, стаклених панела, везе стакла и алуминијума, термоизолација и заптивка. Код модела МВ предмет истраживања су додатно и везе спољашњих алуминијумских профила и алуминијумских панела у пољима испуне.

Резултат прорачуна индекса демонтаже фасадног система (D) указује на значајне разлике између основних модела МА и МВ. Код основног модела А индекс демонтаже износи само 0.15, док је код модела В он 0.52. Највећа разлика у резултату потиче од везе стакла и алуминијумских профила носеће конструкције фасадних омотача.

Када посматрамо појединачне компоненте алуминијумски профили унутрашњег оквира су најповољнији са аспекта демонтаже, јер се ради о механичкој вези са додатним елементима, односно вијцима. Могуће је модуларно одвајање вертикалних и хоризонталних елемената оквира, чија демонтажа не утиче негативно на друге компоненте у склопу фасадног сегмента. Двоструко изоловани стаклени пакети су апсолутно најмање повољни са аспекта демонтаже, јер је овај производ спојен меком хемијском везом којој се не може приступити без додатних радова које изазивају непоправљиву штету. Међутим, без обзира на везе у оквиру појединачних компоненти, највећи утицај на индекс демонтаже имају међусобне везе алуминијумских профила и стаклених панела у фасадним сегментима. За њих је поред типа и приступачности везе, значајна и независност компоненти и геометрија ивице.

Код основног модела МА најнеповољнији утицај на укупни резултат индекса демонтаже има силиконска веза стакла са профилима унутрашњег оквира. Она је изведена као мека хемијска веза која је приступачна једино кроз додатне радове који

узрокују непоправљиву штету на стаклени панел и делимично поправљиву штету на алуминијумским профилима. Са аспекта демонтаже склопа она је потпуно затворена, преклопљена и интегрисана са околним компонентама. Ниском индексу демонтаже модела МА додатно доприноси и чињеница да се стаклени панели налазе и у пољима испуне, односно значајно више су присутни него код основног модела МВ.

Са овог аспекта је модел МВ повољнији, јер поред унутрашњег оквира постоје и алуминијумски профили спољашњег оквира између којих се налази стаклени термоизолациони пакет. Веза ових компоненти остварена је као механичка веза са додатним елементима, и са аспекта демонтаже је значајно повољнија од меке хемијске везе модела МА. Иако је присутно делимично преклапање ивица компоненти и приступање вези захтева додатне радове, њено растављање је могуће без оштећења околних компоненти.

За одређивање укупног индекса демонтаже модела МВ неопходно је узети у обзир и компоненте у склопу поља испуне. Алуминијумски панели су појединачно, повољни са аспекта типа везе, јер су за главну конструкцију оквира везани вијцима чија демонтажа не узрокује штету на самим или околним компонентама. Међутим, са аспекта демонтаже склопа, њихова ивица је делимично преклопљена и приступачна једино уз додатне радове. Код поља испуне већи проблем настаје код демонтаже термоизолације, јер је иначе најбоље оцењен тип суве везе деградиран њеном неприступачношћу и затвореношћу од стране других компоненти. Тиме се вредност укупног индекса демонтаже целог поља испуне у фасадном сегменту значајно снижава, јер демонтажа подразумева додатне редове приликом растављања компоненти, иако оне нису међусобно укрштене. Исти проблем код демонтаже термоизолације присутан је и код модела А.

Код оба основна модела у фасадном сегменту присутна је ЕПДМ заптивка, која је са аспекта демонтаже мање повољна код модела А у односу на В. Наиме, код основног модела МА заптивка је мање приступачна и њена демонтажа лошије утиче на околне компоненте, односно делимично их оштећује. Код оба модела заптивка подразумева потпуно укрштање и интеграцију компонената. Код модела МВ утицај на укупни индекс демонтаже има и термички прекид који се налази између елемената зид завесе, а изведен је као клик веза, доступна уз додатне радове који не узрокују штету и према геометрији ивице делимично преклопљена са другим компонентама.

5.2.2.3 Индикатор циркуларног потенцијала у фазама производње, употребе и краја животног циклуса

Индикатор циркуларног потенцијала фасадног сегмента (МСИ) прорачунат је у оквиру софтвера на Мадастер платформи, за појединачне компоненте, а затим и цео фасадни сегмент у фазама изградње, употребе и рушења објекта. Подаци о количинама материјала, њиховом пореклу и количини материјала доступних за рециклажу на крају њиховог животног циклуса у фасадном сегменту служи као основ даљег прорачуна индикатора циркуларног потенцијала.

Анализа резултата индикатора циркуларног потенцијала основних модела врши се прво на основу појединачних компоненти, а затим у односу на фазе животног циклуса.

Резултати индикатора циркуларног потенцијала појединачних компоненти односе се на њихов један животни циклус у склопу фасадног сегмента. Резултати индикатора циркуларног потенцијала за цео предвиђени животни век фасаде укупног трајања од 50 година, сагледавају се на основу прорачуна за индикатор у појединачним фазама животног циклуса.

Алуминијумски профили су компонента са највишом МСИ вредношћу од 0.76 код оба основна модела МА и МВ. Највећи утицај на овај резултат има третирање алуминијума на крају животног века односно велики проценат материјала који је тада доступан за рециклажу. Остале компоненте у оквиру фасадних сегмената имају значајно ниже вредности МСИ, који указује на то да су много ближе линеарном току економије него циркуларном.

Стакло у оквиру двоструко изолованих термоизолационих панела транспарентних поља и поља испуне има МСИ вредност од 0.28. Исту вредност имају и компоненте којима се остварује веза и заптивање у фасадном систему. Термоизолација у оквиру поља испуне је незначајно повољнија са аспекта циркуларног потенцијала, али са вредношћу МСИ 0.29 и даље изузетно удаљена од кружног животног циклуса. Код модела МВ се поред профила оквира подједнако истичу алуминијумски профили у оквиру поља испуне, који имају МСИ вредност од 0.775, што их чини изузетно повољнијим са аспекта циркуларног потенцијала у односу на стаклене пакете у оквиру поља испуне код модела МА.

Индикатор циркуларног потенцијала је затим појединачно израчунат за фазу производње односно изградње, фазу употребе и фазу краја животног века односно рушења објекта. У фази изградње индикатор циркуларног потенцијала је код оба основна модела изузетно низак, са вредностима 0.05 код основног модела МА је и 0.1 за модел МВ. Основни разлог за овако низак резултат је мали удео рециклираних сировина у фазама производње компоненти фасадног сегмента.

У фази краја животног века МСИ је повољнији код модела МВ и износи 0.22, у односу на модел МА где је он само 0.12. највећи утицај на разлику између основних модела има већа количина алуминијума у фасадном сегменту модела МВ, који се поред профила оквира налази и као испуна нетранспарентних поља (Слика 19).

Индикатор циркуларног потенцијала у фази употребе је код оба основна модела виши од 1, јер је предвиђени животни век свих компоненти фасадног сегмента код основних модела 25 година. У оквиру платформе Мадастер, у основним поставкама софтвера генерални просечни животни век фасада, као једног од слојева објекта, је одређен на 20 година. Тиме ће за све компоненте, чији је животни век дужи од овога, вредност МСИ бити виша од 100%. Самим тим је резултат индикатора циркуларног потенцијала оба основна модела преко 1, односно 1.25.



Слика 19. Резултати прорачуна индикатора циркуларног потенцијала фасадних сегмената основних модела МА и МВ у односу на фазе животног циклуса (Аутор)

На основу анализе резултата индикатора циркуларног потенцијала у фазама производње односно изградње, употребе и краја животног века/рушења фасадних сегмената основних модела МА и МВ (Слика 23) закључује се да разлика индикатора између основних модела А и В није значајна. Ипак, у односу на фазе изградње и рушења, основни модел МВ остварује боље резултате са аспекта прорачуна МСИ.

5.2.3 Резултати прорачуна утицаја на животну средину – оцена животног циклуса

Прорачун претходно дефинисаних 11 индикатора утицаја на животну средину спроведен је на основу декларација производа за животну средину приказаних у Прилогу 4 и објашњених у наведеном инвентару за оцену животног циклуса основних модела. Представљени резултати се односе на животно циклус фасадног сегмента од 50 година, који код основних модела подразумева два животна циклуса свих компоненти и њихову замену након 25 година.

Потенцијал глобалног загревања - *GWP tot*

Укупни потенцијал глобалног загревања основног модела А за фазе животног циклуса А, Б и Ц износи 30,200kgCO₂, док је за модел В та вредност нешто већа и износи 36,400 kgCO₂. Однос између модела је исти и уколико се узима у обзир и фаза Д, јер је укупна сума за фазе А-Д модела В већа од суме модела А за око 3,600 kgCO₂. Разлика између два модела потиче првенствено из количине алуминијума која је због присуства спољашњих покривних капа значајно већа код модела В.

Највећи допринос у укупној емисији CO₂ код оба модела има алуминијум а затим двоструко изолован стаклени панел са ламинираним стаклом у оквиру транспарентних поља. Мање количине CO₂ везују се за двоструко изолован стаклени панел у оквиру поља испуне и EPDM заптивку, док је утицај минералне вуне значајно мањи.

Резултати прорачуна потенцијала глобалног загревања за фасадне сегменте основних модела МА и МВ, у односу на појединачне фазе животног циклуса, приказани су у Табели 10.

Табела 10. Потенцијал глобалног загревања основних модела МА и МВ у зависности од фаза животног циклуса.

GWP tot kg CO ₂ eq.	A1-A3	B1- B5	Ц1- Ц4	Σ А-Ц	Д	Σ А-Д
Модел А	14,400	15,100	722	30,200	-5,470	24,800
Компонента са највећим уделом у фази	AL-профили	AL-профили	EPDM		AL-профили	
Модел В	17,500	18,200	672	36,400	-8,020	28,400
Компонента са највећим уделом у фази	AL-профили	AL-профили	EPDM		AL-профили	

За алуминијумске профиле емисија CO₂ у фази производње првог циклуса (приказано у укупној фази А1-А3) износи 7.51 тону за модел А, односно 10.75 тона за модел В. Ова сума је једнака количини која се емитује током фазе производње другог циклуса за оба модела (приказано у укупној фази Б1-Б5). Податак о емисијама CO₂ везаних за поступак враћања алуминијума у процес производње, приказан у оквиру фазе Д, односи се на рециклажу око 90% укупног алуминијума из фаза А и Б, и износи -5.1 тону за модел А, односно -7.31 за модел В.

Двоструко изоловани стаклени панели транспарентних поља одговорни су за по 5120kgCO₂ код модела А у фази А и Б животног циклуса, и 4990kgCO₂ код модела В. С обзиром да се сви стаклени панели одлажу на депонију на крају сваког животног циклуса фаза Д не постоји ни у једном основном моделу, док је емисија CO₂ током фазе Ц занемарива у односу на друге компоненте. У моделу А количина стаклених панела у оквиру поља испуне је површински значајно мања стога је емисија CO₂ у фази производње 1. и 2. циклуса по 1220kg. Поред заступљености на фасади ова сума је мања у односу на транспарентна поља јер не подразумева процес ламинирања стакла односно додавање слојева равног стакла.

Иако се у односу на врсту стаклених панела веће емисије CO₂ односе на транспарентна поља, за поља испуне се поред стакла мора узети и утицај минералне вуне. Ипак утицај овог материјала је значајно повољнији са аспекта потенцијала глобалног загревања у односу на претходно наведене јер се током производне фазе емитује око 280kgCO₂, а ова сума је скоро иста и за модел В. У моделу В се за поља испуне користи се алуминијумски панел који је повољнији у односу на стаклене панеле модела А, јер је у производној фази за сваки циклус емисија CO₂ око 730kg.

У укупној емисији CO₂ модела А утицај силикона је готово занемарив с обзиром на чињеницу да се укупно током фаза А-Ц емитује 17 kgCO₂. Са друге стране, код модела В термички прекид има значајнији утицај са по 503kgCO₂ за фазе А и Б. Емисије CO₂ које се односе на EPDM заптивку дају другачије резултате у односу на остале материјале, јер се за разлику од претходних највећа сума везује за фазу Ц. Код модела А се током ове фазе емитује 658kgCO₂, у односу на фазу А и 337kgCO₂. Однос између фаза је сличан и код модела В, где се у фази А емитује 301 kgCO₂ а у фази Ц 587 kgCO₂.

Потенцијал ацидификације, еутрофикације и формирања фото-хемијског озона - AP, Epfr и POCP

Укупном потенцијалу ацидификације (AP) највише доприносе алуминијумски профили и стаклени панели у фазама производње сваког циклуса. У моделу А ове две компоненте одговорне су за око 25 мола по фази А и Б. Разлика између наведених компоненти је код модела В више приметна због веће количине алуминијума. Од осталих компоненти модела А мањи утицај имају стаклени панели у пољима испуне са око 6 мола по производној фази циклуса, док је ова количина дупло мања за алуминијумски панел у пољима испуне модела В. У оба модела остале компоненте имају мањи утицај на укупне суме (Табела 11).

Најнеповољнији утицај на потенцијал еутрофикације слатке воде (Epfr) код оба основна модела има производња минералне вуне са по 0.172kgPO₄ по циклусу. Затим се издваја EPDM заптивка са дупло мањим утицајем у фазама А и Б, али значајнијим утицајем у фази Ц када је резултат у односу на минералну вуну 6 пута већи (Табела 11). EPDM заптивка је у односу на све друге компоненте најзаступљенија и у фази Д. Остале компоненте имају мањи утицај на укупну суму за фазе А до Ц, јер се за стаклене панеле транспарентних поља везује само 0,024kgPO₄, а за алуминијумске профиле оквира 0,011 kgPO₄ код модела МА. Код модела МВ, је сума за алуминијум не значајно виша, 0,016 kgPO₄ док стакло остаје на истом нивоу. У овом моделу је утицај алуминијумских панела у пољима испуне занемарљив.

Табела 11. Потенцијал ацидификације, еутрофикације и формирања фото-хемијског озона основних модела МА и МВ у зависности од фаза животног циклуса.

AP mol H ⁺ eq.	A1-A3	B1- B5	Ц1- Ц4	Σ А-Ц	Д	Σ А-Д
Модел А	57	58	0.53	116	-18	98
Компонента са највећим уделом у фази	AL-профили и Стаклени панел (ТИ)	AL-профили и Стаклени панел (ТИ)	Стаклени панел (ТИ)		AL-профили	
Модел В	66	67	0.52	133	-28	105
Компонента са највећим уделом у фази	AL-профили	AL-профили	Стаклени панел (ТИ)		AL-профили	
Epfr kg PO ₄ eq.	A1-A3	B1- B5	Ц1- Ц4	Σ А-Ц	Д	Σ А-Д
Модел А	0.25	0.28	0.02	0.54	-0.06	0.48
Компонента са највећим уделом у фази	Минерална вуна (ПИ)	Минерална вуна (ПИ)	EPDM		EPDM	
Модел В	0.25	0.27	0.01	0.53	-0.06	0.47
Компонента са највећим уделом у фази	Минерална вуна (ПИ)	Минерална вуна (ПИ)	EPDM		EPDM	
POCP kg NMVOC eq.	A1-A3	B1- B5	Ц1- Ц4	Σ А-Ц	Д	Σ А-Д
Модел А	33	33	0.36	66	-9	57
Компонента са највећим уделом у фази	Стаклени панел (ТИ) и AL-профили	Стаклени панел (ТИ) и AL-профили	Стаклени панел (ТИ)		AL-профили	
Модел В	37	38	0.34	75	-14	61
Компонента са највећим уделом у фази	AL-профили	AL-профили	Стаклени панел (ТИ)		AL-профили	

Формирање фото-хемијског озона (РОСР) повезано је са производним фазама алуминијума и стакла код оба модела. Обе компоненте скоро подједнако доприносе укупној суми, где је током 2 циклуса производње за сваку од њих потенцијал формирања фото-хемијског озона око 15kgNMVOC за модел МА. Код модела МВ већи утицај има алуминијум, за који се везује укупно 40kgNMVOC (фазе А, Б и Ц), у односу на стакло које је одговорно за укупно 30kgNMVOCу истим фазама животног циклуса. Код оба модела се у фази Ц издвајају стаклени панели, док је фаза Д повезана са потенцијалима уштеде на основу могућности поновног коришћења алуминијума (Табела 11).

Укупна потрошња обновљивих и необновљивих извора енергије – PERT и PENRT

Највећа количина енергије добијене из обновљивих извора (PERT) потребна је за производњу алуминијумских профила код оба модела. За производњу алуминијума се за један циклус код модела А троши 34,590MJ, што је за око 4 пута више од енергије потребне за производњу двоструко изолованих стаклених панела у оквиру транспарентних поља, за које је потребно 7,440MJ. За производњу стаклених панела поља испуне потребно је дупло мање енергије него за транспарентна поља.

У фази производње се на четвртом месту код модела А налази EPDM заптивка за коју се по циклусу производње троши око 1,000MJ енергије добијене из обновљивих извора. Код модела В се за термички прекид и EPDM заптивка троши једнака количина енергије у производним фазама циклуса 1 и 2, односно око 900 MJ по фази. Потенцијал уштеде потрошње енергије у фази Д највећим делом потиче од алуминијумских профила код оба основна модела.

Резултати прорачуна укупна потрошње обновљивих и необновљивих извора енергије у односу на фазе животног циклуса за основне моделе А и В, као и утицај појединачних компоненти приказани су у Табели 12.

Табела 12. Укупна потрошња обновљивих и необновљивих извора енергије основних модела МА и МВ у зависности од фаза животног циклуса.

PERT MJ	A1-A3	B1- B5	Ц1- Ц4	Σ А-Ц	Д	Σ А-Д
Модел А	47,020	47,300	144	94,464	-24,210	70,254
Компонента са највећим уделом у фази	AL-профили	AL-профили	Стаклени панел (ТИ)		AL-профили	
Модел В	62,170	62,690	419	125,279	-35,930	89,349
Компонента са највећим уделом у фази	AL-профили	AL-профили	AL-панел (ПИ)		AL-профили	
PENRT MJ	A1-A3	B1- B5	Ц1- Ц4	Σ А-Ц	Д	Σ А-Д
Модел А	203,940	205,210	1,003	409,151	-74,030	335,121
Компонента са највећим уделом у фази	AL-профили	AL-профили	Стаклени панел (ТИ)		AL-профили	
Модел В	249,190	250,910	1,520	501,620	-108,040	393,580
Компонента са највећим уделом у фази	AL-профили	AL-профили	Стаклени панел (ТИ)		AL-профили	

Резултати потрошње енергије добијене из необновљивих извора (PENRT) слични су резултатима потрошње фосилних ресурса с обзиром да се оба индикатора изражавају у МЈ. За оба модела највећи утицај на укупну потрошњу необновљивих ресурса имају алуминијумски профили у фазама производње сваког циклуса. Такође они имају и највећи потенцијал у фази Д. Утицај других компоненти приметан је једино у фази Ц где се издвајају двоструко изоловани стаклени панели код оба основна модела.

Потрошња минералних и фосилних ресурса – ADPe и ADPf

У оба модела потрошња минералних ресурса (ADPe) повезана је са производњом стаклених панела, и значајно је већа у односу на све друге компоненте. За производњу стаклених панела транспарентних поља модела МА се по фази троши мање од 0.003kgSb, док се за оне у пољима испуне троши око 0.001kgSb. Резултати за стакло у оквиру транспарентних поља су слични и за модел МВ, док је једина разлика у панелима поља испуне где се код овог модела због употребе алуминијума уместо стакла потрошња минералних ресурса смањује. Код оба основна модела у фази Д највећи утицај имају алуминијумски профили и EPDM заптивка.

Утицај појединачних компоненти на резултате прорачуна потрошње минералних и фосилних ресурса код основних модела МА и МВ у односу на појединачне фазе животног циклуса приказани су у Табели 13.

Табела 13. Потрошња минералних и фосилних ресурса за фасадни сегмент основних модела МА и МВ.

ADPe kg Sb eq.	A1-A3	B1- B5	Ц1- Ц4	Σ А-Ц	Д	Σ А-Д
Модел А	0.0050	0.0060	0.00001	0.0110	-0.0003	0.0107
Компонента са највећим уделом у фази	Стаклени панел (ТИ)	Стаклени панел (ТИ)	Стаклени панел (ТИ)		AL-профили	
Модел В	0.0040	0.0050	0.00002	0.0090	0.0000	0.0090
Компонента са највећим уделом у фази	Стаклени панел (ТИ)	Стаклени панел (ТИ)	AL-панел (ПИ)		AL-профили	
ADPf MJ	A1-A3	B1- B5	Ц1- Ц4	Σ А-Ц	Д	Σ А-Д
Модел А	202,650	203,890	992	407,532	-73,440	334,092
Компонента са највећим уделом у фази	AL-профили	AL-профили	Стаклени панел (ТИ)		AL-профили	
Модел В	247,870	249,440	1,390	498,700	-107,440	391,260
Компонента са највећим уделом у фази	AL-профили	AL-профили	AL-панел (ПИ)		AL-профили	

Укупној потрошњи фосилних ресурса (ADPf) у фазама производње код модела МА највише доприносе алуминијумски профили са по 102,550MJ у фази А и Б, и стаклени панели транспарентних поља са по 69,750MJ. Затим следе стаклени панели у оквиру поља испуне са по 17,180 MJ у фази А и Б, и EPDM заптивка са по 9,860MJ по фази. Међутим у фази Ц се, у односу на остале компоненте, издвајају стаклени панели транспарентних поља са 677MJ. Сума у фази Д је у највећој мери приписана алуминијумским профилима и у мањем обиму EPDM заптивци.

У основном моделу В највећи утицај има производња алуминијумских профила, по 146,850MJ у фази А и Б, и стаклених панела са по 68,880MJ. Међутим у односу на модел А, код модела Б уштеда се остварује у пољима испуне, јер је за производњу алуминијумских панела потребно нешто мање ресурса него за стаклене панеле. У фази Д, као код модела А, највећи утицај имају алуминијумски профили, затим следе алуминијумски панели и EPDM заптивка.

Одлагање штетног отпада - HWD

Код оба модела скоро цела укупна количина штетног отпада потиче из производне фазе алуминијумских профила. Код модела В се у сваком циклусу производње профила, одлаже по 28 килограма штетног отпада, односно укупно 54 килограма у фазама А и Б. Количина штетног отпада у истим фазама је мања код модела А и износи укупно 38 килограма, односно 19 килограма по свакој фази (Табела 14).

Одлагање неопасног отпада - NHWD

У односу на друге две категорије отпада, количина неопасног отпада је у фази А скоро 100 пута већа, односно 200 пута у фази Б. За разлику од друге две категорије отпада, у укупној суми за фазе од А до Ц највећи удео имају двоструко изоловани стаклени панели транспарентних поља.

Иако се за производњу алуминијума везује већа количина отпада у фазама производње оба циклуса, одлагање целих стаклених панела на депонију на крају сваког животног циклуса чини ове компоненте најнеповољнијим са аспекта одлагања неопасног отпада.

Код модела В се приликом производње алуминијумских профила у првом циклусу одлаже око 2.45 тоне отпада, што је слично количини у фази Б. Ова количина је нешто мања код модела А и износи 1,71 тону по фази производње. У фази рушења су алуминијумски профили одговорни за само 40 килограма отпада у моделу В, односно 28kg у моделу А, јер се највећи део рециклира. За разлику од њих, стаклени панели се у целости одлажу на депонију, због чега су доминантни у фази Ц, с обзиром да се за њих везује одлагање 3370 килограма отпада код модела А и 3410 килограма отпада код модела В. Ипак, током њихове производње одлаже се само 160kg отпада по циклусу за оба модела. Слично је и са минералном вуном, где се у фази Ц на депонију одлаже око 220kg овог материјала у оба модела, што је знатно већа количина него отпад настао током фазе производње.

Укупна сума у фази Д код оба модела потиче од потенцијал поновног коришћења алуминијумских профила. С обзиром на већу количину уграђеног алуминијума код модела В због постојања спољашњих профила оквира, сума у фази Д је еквивалентно већа у односу на модел А.

На основу анализе закључује се да је у фази производње првог циклуса код модела В, најдоминантнија компонента алуминијумски профил, затим следе алуминијумски и стаклени панел, док се на последњем месту налази минерална вуна. Супротно овоме, у фази Ц, највећа количина отпада повезана је са стакленим панелима, затим следе минерална вуна и алуминијумски панел, док се на последњем месту налазе алуминијумски профили. Слична ситуација је и код модела А, где се у фази Ц стаклени

панел у оквиру поља испуне налази на другом месту у односу на стакло транспарентних поља, а затим следе минерална вуна и алуминијумских профили.

Оваква значајна промена удела компоненти, у различитим фазама животног циклуса, директно је повезана са циркуларним потенцијалом материјала односно могућношћу њиховог поновног коришћења на крају животног века.

Резултати прорачуна за све врсте отпада у односу на фазе животног циклуса фасадног сегмента основних модела МА и МВ приказани су у Табели 14.

Табела 14. Производња штетног, неопасног и радиоактивног отпада у зависности од фазе животног циклуса за фасадни сегмент модела МА и МВ.

HWD kg	A1-A3	B1- B5	Ц1- Ц4	Σ А-Ц	Д	Σ А-Д
Модел А	19	19	0.00001	38	-0.00003	38
Компонента са највећим уделом у фази	AL-профили	AL-профили	Стаклени панел (ТИ)		AL-профили	
Модел В	28	28	0.00001	56	-0.00004	56
Компонента са највећим уделом у фази	AL-профили	AL-профили	Стаклени панел (ТИ)		AL-профили	
NHWD kg	A1-A3	B1- B5	Ц1- Ц4	Σ А-Ц	Д	Σ А-Д
Модел А	1,950	6,360	4,420	12,730	-1,180	11,550
Компонента са највећим уделом у фази	AL-профили	Стаклени панел (ТИ)	Стаклени панел (ТИ)		AL-профили	
Модел В	2,860	6,580	3,720	13,160	-1,780	11,380
Компонента са највећим уделом у фази	AL-профили	Стаклени панел (ТИ)	Стаклени панел (ТИ)		AL-профили	
RWD kg	A1-A3	B1- B5	Ц1- Ц4	Σ А-Ц	Д	Σ А-Д
Модел А	8	8	0.01	16	-3	13
Компонента са највећим уделом у фази	AL-профили	AL-профили	Стаклени панел (ТИ)		AL-профили	
Модел В	10	10	0.09	20	-4	16
Компонента са највећим уделом у фази	AL-профили	AL-профили	AL-панел (ПИ)		AL-профили	

Одлагање радиоактивног отпада - RWD

Највећа количина радиоактивног отпада одлаже се током производне фазе алуминијумских профила, где се код модела А у свакој од фаза А и Б одлаже по 5kg отпада, а код модела В по 8kg отпада. Код модела В се у истим фазама одлаже по 2kg радиоактивног отпада током производње двоструко изолованих стаклених панела, што је једнако количини код модела А. Током производње стаклених панела у оквиру поља испуне код модела А одлаже се укупно 2kg отпада за оба циклуса.

У моделу В се приликом производње алуминијумских панела у фази А одлаже 518g радиоактивног отпада, у фази Б 595g и 77g у фази Ц. Иако ова компонента има највећи допринос током фазе Ц односу на друге материјале у оквиру фасадног сегмента, количина одложеног радиоактивног отпада је значајно мања од производних фаза алуминијумских профила за оба циклуса (Табела 14).

5.2.4 Систематизација података из прорачуна основних модела

Анализом података из нумеричких прорачуна основних модела, утврђује се да је модел МА повољнији са становишта уграђене количине материјала, док је модел МВ повољнији када се у обзир узима могућност демонтаже и понове употребе уграђених материјала на крају животног циклуса.

Анализа резултата прорачуна процене животног циклуса основних модела у односу на различите индикаторе утицаја омогућила је њихово међусобно поређење, али и детаљно сагледавање појединачних фаза животног циклуса сваког модела. Идентификована су компоненте које има највећи утицај за сваки од израчунатих 11 индикатора утицаја на животну средину.

Процена животног циклуса основних модела односила се на животни век објекта од 50 година за које је предвиђено мењање свих компоненти фасаде након 25 година. Тиме се утицај производње фасадних компоненти у првом животног циклусу изражава у фази А, док се производња другог животног циклуса приказује у фази Б. За све моделе приказан је и утицај фазе Д али се као релевантан податак за сва даља поређења у обзир узима укупна сума током фаза А, Б и Ц.

Систематизацијом сазнања на основу анализе резултата прорачуна индикатора утицаја на животну средину изводи се закључак да основни модел МА повољнији од модела МВ када се у обзир узимају потенцијал глобалног загревања, потенцијал ацидификације, потенцијал формирања фото-хемијског озона, укупна потрошња обновљивих и необновљивих извора енергије и потрошња фосилних ресурса. Такође модел МА је повољнији са аспекта одложене количине свих врста отпада на крају животног циклуса. Модел МВ остварује бољи резултат индикатора потрошње минералних ресурса, док је потенцијал еутрофикације на сличном нивоу код оба модела.

Резултати утицаја на животну средину су указали на компоненте које имају највећи утицај у оквиру сваког фасадног система истраживаног сегмента. Тако код оба основна модела највећи утицај на потенцијал глобалног загревања имају алуминијумски профили оквира на индикаторе GWP, PERT, PENRT, Adpf, HWD, NWD и RWD. Поред ове компоненте за индикатор AP значајна је и компонента двоструко изолованих стаклених пакета у оквиру транспарентних поља, која има највећи утицај на резултате индикатора ADPe. Минерална вуна у пољима испуне код оба основна модела има највећи утицај на индикатор EPfr.

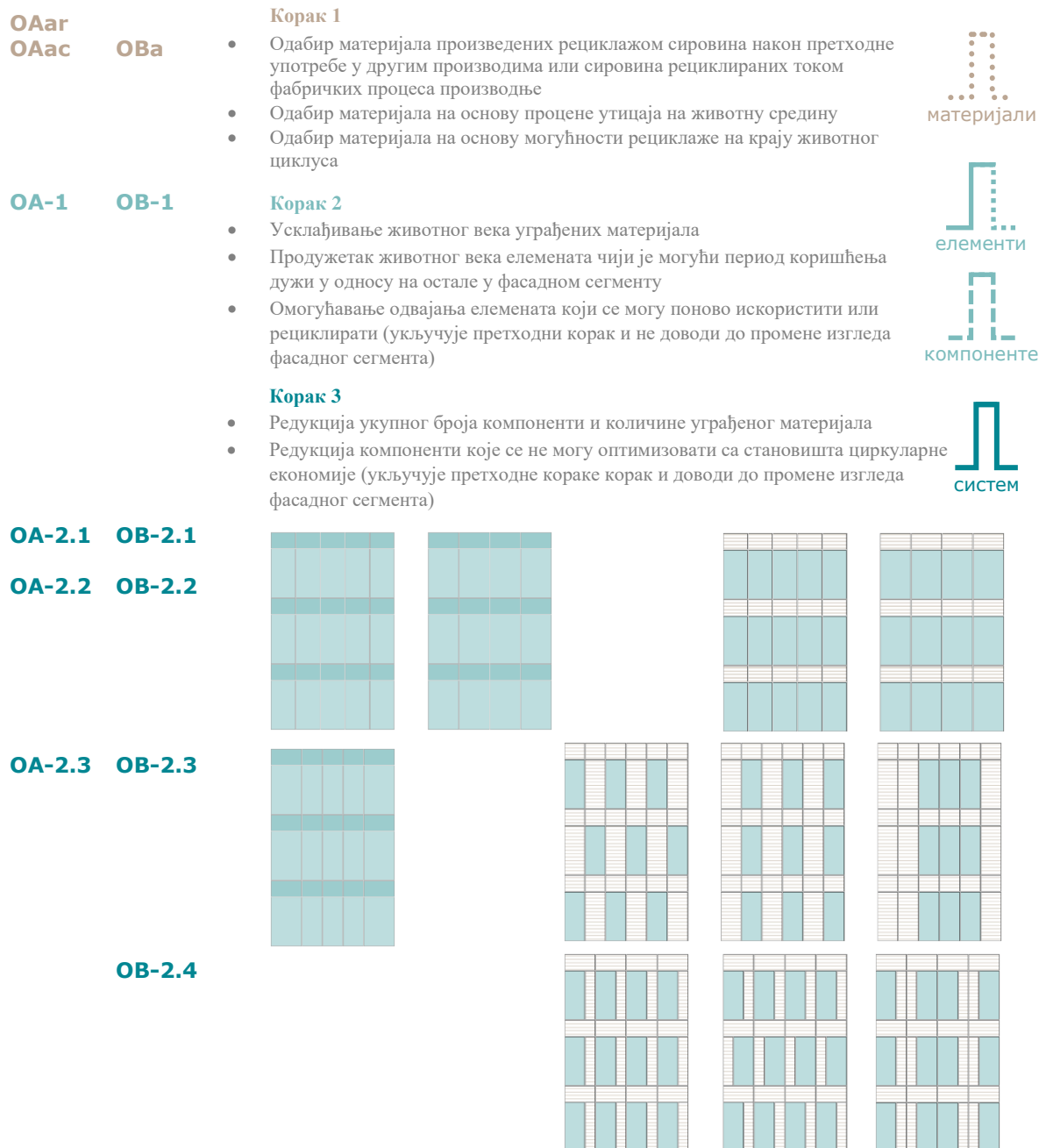
На основу представљене анализе закључује се да је у циљу оптимизације фасадних сегмената основних модела неопходно применити стратегије које се односе на

- употребу материјала које садрже већи удео секундарних сировина,
- унапређење могућности демонтаже,
- оптимизацију животног века,
- оптимизацију уграђене количине материјала,
- редукацију компоненти које имају неповољан утицај на животну средину,
- употребу материјала које се могу поново искористити или рециклирати на крају животног века.

5.3 ДЕФИНИСАЊЕ ОПТИМИЗОВАНИХ МОДЕЛА

У односу на установљене могућности оптимизације у Поглављу 4 и формиране стратегије примене принципа циркуларне економије, дефинишу се оптимизовани модели који ће бити предмет даљег прорачуна. Да би се сагледао утицај примене стратегија циркуларне економије у односу на ниво примене материјала, елемената и компоненти, као и целог фасадног система, дефинишу се оптимизовани модели према корацима у поступку оптимизације (Слика 20).

ОПТИМИЗОВАНИ МОДЕЛИ



Слика 20. Дефинисање корака у поступку оптимизације основних модела и утицаја примењених стратегија на промену изгледа фасадних сегмената (Аутор)

5.4 ПРОРАЧУН ФАСАДНИХ СЕГМЕНАТА ОПТИМИЗОВАНИХ МОДЕЛА

5.4.1 Инвентар за прорачун оптимизованих модела

Као и код основних модела, код оптимизованих модела прорачунавају се алуминијумски профили унутрашњег оквира, двоструко изоловани стаклени панели у оквиру транспарентних или нетранспарентних поља, минерална вуна у склопу нетранспарентних поља, силиконска веза, термички прекид и заптивка. За све оптимизоване моделе инвентар који се односи на заптивку (ознака: EPDM), силикон у фасадном систему AF UDC 80 SG, односно термички прекид (ознака: PA66) у систему AF UDC 80.HI, остаје исти као и код основних модела. Разлог је тај што на тржишту тренутно не постоје оптимизоване варијанте материјала за ове елементе са аспекта циркуларне економије.

Код оптимизованих модела ОА, у склопу инвентара се налазе унапређене варијанте алуминијумских профила, стаклених панела и минералне вуне, док се код модела ОВ додатно оптимизују и алуминијумски панели.⁶² Заједнички инвентар за све оптимизоване моделе у оквиру оба фасадна система су:

- Алуминијумски профили - Ознака: Алуминијум Н.С.

Код оптимизованих модела се за елоксираних алуминијумских профила оквира користе подаци који се односе на производ који је за сада најоптималнији са становишта ЦЕ у фасадној индустрији. Наиме, ради се о профилима који нису сачињени само од алуминијума рециклираног током различитих фабричких процеса производње, већ и алуминијума који је рециклиран након употребног животног циклуса у неком претходном производу. Ове две врсте алуминијума су у предметним профилима заступљене тако да 19,7% потиче од рециклаже у фабрици, док је порекло чак 82,1% материјала од рециклаже других производа.

Подаци о тежини и третирању на крају животног циклуса који се односе на потенцијале рециклаже су исти као и код алуминијумских профила основних модела, а подразумевају прикупљање укупно 96% алуминијума у фази рушења, док је 4% изгубљено на месту сакупљања односно градилишту. Од прикупљене количине материјала се око 95% шаље на рециклажу, јер се око 5% губи током процеса уситњавања. Ко и код основних модела количина алуминијума у фасадним сегментима се рачуна у односу на специфичности фасадних система према волумену профила, у односу на тежину у килограмима.

- Двоструко изолован стаклени панел - Ознака: DGU 66.2-16-8 О

Термоизолациони стаклени панели транспарентних поља оптимизованих модела имају исте карактеристике склопа као и основни модели. Аспекти дебљине равног стакла на унутрашњој и спољашњој страни, испуна, ламинирање, премаз и фолија остају непромењени. Једина промена, односно унапређење, се односи на порекло материјала за израду равног стакла у оквиру склопова оптимизованих модела. Наиме, код оптимизованих модела користи се стакло ORAE произвођача Saint-

⁶² Декларације производа који се користе за прорачун основних модела ОА и ОВ су табеларно приказане у Прилогу 4.

Gobain. Иако декларација производа за ово стакло указује на употребу чак 64% рециклираног кулета за израду стакла, тај проценат је у овом истраживању смањен на 50%. Имајући у виду да равно стакло ORAE представља производ са највећим уделом секундарне сировине у индустрији, проценат је редукован у односу на претпоставку да слични резултат неће у ближој будућности моћи да постане генерални стандард у фасадној индустрији. Сам процес производње овог стакла има редуковане негативне утицаје на животну средину, због употребе обновљивих извора енергије.

За квантификацију индикатора оптимизованих модела, самостално је припремљен инвентар који се односи на овај стаклени пакет. Он је припремљен у односу на разлике између стакла *Planiclear* и *ORAE* у односу на примењене дебљине равног стакла у пакету, према подацима приказаним у Прилогу 2. Подаци који се односе на процес ламинирања стакла, апликацију премаза и фолије као и испуне међупростора аргоном, остају исти као код основних модела. Тежина стаклених пакета одређује се према њиховој површини ($50,8 \text{ kg/m}^2$). На крају животног века предвиђа се одлагање целих стаклених пакета на депонију, односно производ нема могућност поновног коришћења или рециклаже.

- Термоизолација - Ознака: Минерална вуна RW

Минералну вуну која се користи као инвентар за нумерички прорачун оптимизованих модела карактеришу унапређене фазе производње и краја животног циклуса. Удео рециклиране сировине у производњи овог материјала је 37%, док је предвиђено рециклирање 50% иницијално уграђеног материјала на крају животног века у фасадном сегменту, док се остатак одлаже на депонију. У пољима испуне оптимизованих панела термоизолација има исту дебљину као код основних, а њена количина се рачуна према густини у односу на килограм материјала.

За оптимизоване моделе фасадних сегмената се, као и код основних модела, дефинише специфичан инвентар у односу на примењене фасадне системе AF UDC 80 SG и AF UDC 80.HI.

Специфични инвентар за оптимизоване моделе OA:

- Двоструко изолован стаклени панел - Ознака: DGU 8t-16-6 O

Као и код стаклених панела у транспарентним пољима, код оптимизованих модела А једина промена код термоизолационих стаклених панела у пољима испуне односи се на употребу равног стакла. И овде се примењује стакло *ORAE* уделом секундарне сировине од 50% у фази производње, и редукованим негативним утицајима на животну средину, који се на крају животног циклуса одлаже на депонију. У односу на тежину од 35 kg/m^2 за конфигурацију склопа стакленог пакета одређује се уграђена количина материјала у фасадни сегмент.

Код модела А се у првом кораку оптимизације истражује и утицај различитог алуминијума за профиле унутрашњег оквира, са другачијим пореклом рециклираних сировина у фази производње, док оптимизација код свих модела OB подразумева и унапређење алуминијумских панела у пољима испуне.

Специфични инвентар за оптимизовани модел OAaг:

- Алуминијумски профили - Ознака: Алуминијум Н.Р.
Ове елоксиране алуминијумске профиле карактерише висок удео рециклираних сировина у фази производње, који износи чак 99%. Секундарна сировина је у овом случају потиче од материјала који се рециклира током производних процеса у фабрици. То се може сматрати тренутним стандардом у пракси на европском нивоу, нарочито у земљама где је развијена свест о утицају грађевинских производа на животну средину. Претпоставка је да се на крају животног циклуса скупља око 96% почетно уграђеног материјала који се може вратити у процес производње. Као и у инвентару основних модела, ефикасност тог процеса рециклаже је ограничена на 95%. Уграђена количина алуминијума је израчуната, као и код основних модела, у односу на тежину алуминијума од 2700 kg/m³.

Специфични инвентар за оптимизоване моделе ОВ:

- Алуминијумски панел - Ознака: Алуминијум L
За оптимизоване панеле користи се алуминијумски панел исте дебљине и склопа. Унапређење у односу на претходне представља удео рециклираних сировина у производњи, који износи 55%. мање унапређење примећује се и у фази краја животног циклуса, када се током процеса рециклаже обезбеђује незнатно више иницијално уграђеног материјала за даљу употребу. Ове панеле карактерише нешто мања тежина него панеле основних модела која износи 7.78 kg/m², која потиче од густине језгра панела али нема никакав утицај на топлотну поводљивост.

5.4.2 Резултати прорачуна индикатора циркуларног потенцијала

5.4.2.1 Порекло и потенцијали поновне употребе материјала

Као и код основних модела, анализа токова материјала од којих се састоје компоненте у оквиру фасадних сегмената оптимизованих модела врши се за један животни циклус. За животни век сегмента од 50 година, код модела ОАаг, ОАас и ОВа подразумевају се два тока за све материјале, као и код основних модела. Код осталих оптимизованих модела, где долази до продужетка животног века минералне вуне, алуминијумских профила и панела, за ове компоненте узима се у обзир један ток, док за остале остаје исто као код претходних модела.

С обзиром да први корак оптимизације подразумева само промену материјала, количина уграђених материјала код оптимизованих модела ОАаг и ОАас је у потпуности једнака оној код основног модела МА. Међутим, до промене долази у количини уграђених секундарних материјала, као и количини материјала доступних за рециклажу на крају животног века. Наиме у ова два модела се користе оптимизоване варијанте алуминијумских профила, стаклених термоизолационих панела и минералне вуне. Оне доприносе значајном порасту удела уграђеног секундарног материјала у фасадне сегменте, који код модела ОАаг износи укупно 2.849kg, а код модела ОАас неколико килограма више. Тиме је удео употребљених рециклираних сировина у фази производње код оба модела виши од 50%, што је значајан пораст у односу на основни модел МА. Оптимизација наведених материјала ипак доводи до минималног напретка у количини

материјала доступног на крају животног циклуса, када је код оба модела за поновну употребу доступно 783 килограма материјала.

Даља оптимизација извршена у кораку 2, подразумева унапређење фасадног система са аспекта демонтаже код модела ОА-1. Овај корак доводи до повећане количине алуминијумских профила за око додатних 100 килограма. У складу са тим повећава се и количина уграђеног секундарног материјала код овог фасадног сегмента и количина доступна за рециклажу на крају животног века, с обзиром на претходно унапређене карактеристике алуминијумских профила.

Оптимизација броја уграђених компоненти која је управо доводи до смањења уграђене количине материјала код оптимизованих модела ОА-2.1, ОА-2.2 и ОА-2.3. С обзиром да је и код ових модела фасадни систем подразумевао додатак алуминијумског профила који спречава директан контакт силикона и главне носеће конструкције фасаде, резултати се посматрају у односу на модел ОА-1. Тако се код модела ОА-2.1 приликом повећања ширине фасадног поља на 1,5 метара, количина уграђеног алуминијума у профилима смањује за око 90kg, односно 180kg приликом повећања ширине поља на 1,875 метара код модела ОА-2.2. Комбинација фасадних поља различите ширине код модела ОА-2.3 остварује исте резултате за све компоненте као модел ОА-2.1. Тежина стакла се код транспарентних поља код модела ОА-2.2 повећава за 5kg, односно 10kg код ОА-2.2. Количина уграђеног стакла и минералне вуне се минимално мења за по неколико килограма код свих оптимизованих модела А. Редукција броја вертикалних алуминијумских профила у моделима ОА-2.1 и ОА-2. доводи и до смањења тежине материјала за заптивање за око 10 килограма по моделу. Удео уграђених секундарних сировина као и сировина доступних за употребу на крају животног циклуса се мења еквивалентно у односу на иницијално уграђене количине материјала.⁶³

Код оптимизованих модела ОВа и ОВ-1 долази до минималне промене количине материјала уграђених у фасадни сегмент, у односу на основни модел. Разлика је једино у тежини алуминијумских панела у оквиру поља испуне, јер су оптимизовани панели за 0,12 kg /m², односно 3kg на нивоу целог фасадног сегмента, лакши од панела основног модела МВ. Као и код модела А, први корак оптимизације материјала остварује значајни пораст удела уграђених рециклираних сировина у фази производње, највише захваљујући оптимизованим алуминијумским профилима и стакленим пакетима. Код оба модела удео секундарних сировина износи 2.846kg, односно преко 50%. На крају животног циклуса за рециклажу је доступно 1.239kg, где је разлика у односу на основни модел остварена оптимизацијом минералне вуне.

Други корак оптимизације у моделима ОВ-2.1 и ОВ-2.2 води ка мањој укупној уграђеној количини материјала. Код модела ОВ-2.1 се приликом повећања ширине фасадног поља на 1,5 метара, количина уграђеног алуминијума у профилима смањује за око 100kg у односу на основни модел и моделе ОВа и ОВ-1. Код модела ОВ-2.2 се приликом повећања ширине поља на 1,875 метара редукује скоро додатних 100 килограма алуминијума. Као и код оптимизованих модела А, и код ових модела промена

⁶³ Резултати прорачуна у односу на количине материјала уграђених у компоненте, као и удео секундарних сировина и материјал доступан на крају животног циклуса свих оптимизованих модела ОА приказани су табеларно за све оптимизоване моделе у Прилогу 5.

димензија фасадних поља води до повећања површине стакла транспарентних поља. У моделу ОВ-2.1 тежина стакла се повећава за 20kg у односу на основни модел, и додатних 20 код модела ОВ-2.2. Свако повећање ширине фасадног поља за 0.25 метара доноси и повећање тежине уграђених алуминијумских панела и минералне вуне за око 1 килограм по фасадном сегменту.

Значајније разлике редукција броја компоненти остварене повећањем димензије фасадних поља приметне су међутим код термичког прекида и заптивке. Како се у сваком од модела редукују алуминијумски профили, термички прекид код модела ОВ-2.1 има 7kg мање од основног модела, а заптивка чак 10kg мање. Еквивалентно томе се код модела ОВ-2.2 остварује подједнака редукција у односу на ОВ-2.1. Промена у тежини иницијално уграђеног материјала доводи до еквивалентних разлика у уделу уграђених секундарних сировина и сировина доступних за употребу на крају животног циклуса ових модела.

Анализа тока материјала указује на веће разлике код модела ОВ-2.3 и ОВ-2.4, у односу на основне али и претходно оптимизоване моделе ОВ. Модел ОВ-2.3 остварује значају редукцију укупне тежине фасадног сегмента у односу на основни модел, око 1.000kg. Разлика потиче од чињенице да је пола транспарентних поља замењено вертикалним пољима испуне. Тежина алуминијумских панела и минералне вуне у пољима испуне је око 7 пута мања одо тежине двоструко изолованог стакленог пакета. Ови материјали додатно повољнији и са аспекта уграђених секундарних сировина у фази производње као и рециклаже на крају животног циклуса. Тиме секундарне сировине уграђене у компоненте фасадног сегмента овог модела чине око две трећине. На крају животног века једна трећина је доступна за даљу рециклажу.

Код модела ОВ-2.4 се примећује мања редукција укупне количине материјала, с обзиром да су вертикална поља испуне код овог модела дупло ужа. Ипак у односу на основни модел фасадни сегмент модела ОВ-2.4 је око 760 килограма лакши. У односу на основни модел на крају животног циклуса доступна је значајно већа количина материјала за рециклажу, а повећање се бележи и у односу на оптимизоване моделе ОВ-1, ОВ-2.1 и ОВ-2.2. Редукција тежине заптивке и термичког прекида је минимална.

Детаљан табеларни приказ тока материјала свих оптимизованих модела ОВ, а који се односи на количину иницијално уграђених материјала, њихово порекло и третирање на крају животног циклуса приказан је за све појединачне компоненте у Прилогу 5.

5.4.2.2 Индекс демонтаже

Анализа индекса демонтаже указала је на значајну разлику између модела А и В, због чега је оптимизација првенствено била усмерена на модел А. Код оптимизованих модела А, оптимизација материјала у моделима ОАаг и ОАас нема никакав утицај на промену индекса демонтаже. Код ових модела он остаје на вредности од 0.15 као код основног модела.

Управо у циљу повећавања могућности демонтаже фасаде основног модела је у 2. кораку поступка оптимизације примењена другачија везе стакла и алуминијумских профила, према закључцима из Поглавља 4. Наиме, код модела ОА-1 (а затим и свих даљих оптимизованих модела), додат је елемент између стаклених панела и

алуминијумских профила. Овај додатни алуминијумски профил, налази се између наведених компоненти и омогућава да се приликом демонтаже стакленог панела не оштећује главни конструктивни алуминијумски профил оквира. Овај елемент је вијцима причвршћен за оквир и преузима контакт са силиконском везом чија демонтажа оштећује околне компоненте. Он из истих разлога истовремено омогућује и оптимизацију индекса демонтаже ЕПДМ заптивке, чиме је додатно избегнуто потпуно укрштање и интеграција различитих компоненти. На овај начин је се приликом демонтаже стакла након 25 година, ни мало не оштећује главни оквир фасадног поља чиме је омогућена директна поновна употреба алуминијумских профила. У овом кораку је индекс демонтажа заправо најбољи показатељ остварене оптимизације фасадног склопа, јер је његова вредност више него дупло боља, односно износи 0.34 код оптимизованог модела ОА-1.

Даље побољшање индекса демонтаже се не остварује редуцијом броја компоненти и елемената кроз повећање ширине фасадних поља на 1,5 метара код модела ОА-2.1. Такође, комбиновање фасадних поља различитих ширина у моделу ОА-2.3 не доводи до разлика у вредности индекса демонтаже. Једино код повећања ширине фасадних елемената на 1,857 метара долази до безначајног смањења индекса демонтаже, који у овом случају износи 0.33. Главни утицај на смањење има редуција броја вертикалних алуминијумских профила, чији је појединачни индекс демонтаже висок, и благо повећање количине стаклених панела чији је индекс демонтаже мање повољан.

За разлику од модела А, код оптимизованих модела В није дошло ни до какве у везама појединачних склопова и компоненти, као ни њихових међусобних везама на нивоу фасадног сегмента. Први корак поступка оптимизације у моделу ОВа нема никакав утицај на промену индекса демонтаже, као ни оптимизација животног века код модела ОВ-1. Код оба оптимизована модела индекс демонтаже остаје на вредности 0.52, као код основног модела. Такође, повећање ширине фасадних поља на 1,5 метара код модела ОВ-2.1, односно 1,875 метара код модела ОВ-2.2, не доводи до промена у резултату. Индекс демонтаже остаје на истом нивоу јер не долази ни до каквих промена у основном фасадном систему, који је од самог почетка повољнији од модела А.

До промене индекса демонтаже једино долази код оптимизованих модела ОВ-2.3 и ОВ-2.4. Код ова два модела фасадног сегмента заправо долази до снижавања вредности индекса демонтаже. У моделу ОВ-2.3 вредност индекса пада на 0.43, а у моделу ОВ-2.4. на 0.46.

На овакво смањење вредности индекса демонтаже највећи утицај има повећање нетранспарентних поља односно вертикалних поља испуне. Разлика у резултату не потиче од промене завршног слоја односно стакленог панела у алуминијумски, већ због сложености склопа нетранспарентног поља. Наиме иако је стаклени тремоизолациони пакет сам по себи неповољан са аспекта демонтаже, он је у транспарентним пољима једина компонента. Демонтажа његове везе са алуминијумских профила која је остварена вијцима, не оштећује друге компоненте попут профила и заптивке. Супротно томе, код нетранспарентних поља појединачне компоненте имају бољи индекс демонтаже од стаклених панела, али у овом склопу њих има више, што саму демонтажу чини компликованијом. Тако да генерално посматрано, код оптимизованих модела В компоненте у оквиру нетранспарентних поља где је завршни слој алуминијумски панел имају нижи индекс демонтаже од транспарентних поља. Један од највећих утицаја на

нижи резултат индекса демонтаже код оптимизованих модела ОВ-2.3 и ОВ-2.4, има демонтажа скопа која се односи на приступачност термоизолацији која је у потпуности блокирана од стране спољашњих и унутрашњих алуминијумских панела у оквиру поља испуне. Како је код ова два модела повећан број поља испуне, њихов укупни индекс демонтаже је нижи у односу на претходно оптимизоване моделе.

5.4.2.3 Индикатор циркуларног потенцијала компоненти фасадног сегмента

Као и код основних модела, прорачун индикатора циркуларног потенцијала прво се врши за појединачне компоненте, а затим за фазе животног циклуса фасадног сегмента. Резултати прорачуна се анализирају у односу на спроведене кораке оптимизације почевши од нивоа материјала до нивоа фасадног система.

У првом кораку оптимизације који се односи на оптимизацију материјала, се примећује највећа разлика у резултатима индикатора циркуларног потенцијала код оба модела фасада. Наиме, код модела А промена алуминијумских профила доводи до пораста вредности МСИ за компоненте унутрашњег оквира на 0.972 код оптимизованог модела ОАаg, односно 0.977 код модела ОАас. Разлика потиче од порекла сировина у алуминијумским профилима. Исти резултат остварен је и код оптимизованог модела ОВа где је МСИ такође 0.977. Оптимизација удела секундарних сировина у производњи равног стакла утиче пораста вредности МСИ на 0.458 код свих оптимизованих модела. Слично томе повећање удела рециклираног материјала у производњи минералне вуне доводи до пораста вредности индикатора циркуларног потенцијала за ову компоненту. Међутим на МСИ индикатор у овом случају утицај има и оптимизовани сценарио на крају животног циклуса којим се предвиђа рециклажа веће количине иницијално уграђеног материјала него код основних модела. Тиме вредност МСИ индикатора минералне вуне код модела свих оптимизованих модела ОАаg, ОАас и ОВа бележи раст на 0.655. Код модела ОВа оптимизација алуминијумских профила доводи до мање промене у индикатору циркуларног потенцијала у односу на основни модел МВ.

Други корак поступка оптимизације, који се односи на оптимизацију односно продужетак животног века одређених компоненти, као и њихову демонтажу, доводи до додатног побољшања резултата индикатора циркуларног потенцијала код оба модела. У моделу ОА-1 оптимизован је животни век алуминијумских профила и минералне вуне, док је код модела ОВ-1 додатно оптимизован и животни век алуминијумских панела у пољима испуне. Тако је код оба модела индикатор циркуларног потенцијала компоненте оквира порастао на 0.988, а минералне вуне на скоро 0.8. Тиме су алуминијумски профили оквира остварили скоро попуни циркуларни потенцијал. Код модела ОВ-1 се највећи утицај оптимизације ипак примећује код алуминијумских панела чија је МСИ вредност порасла на 0.912, што их је значајно приближило току циркуларне економије у односу на претходне моделе.

Оптимизација у трећем кораку поступка, која се односи на редукцију броја елемената и количине уграђеног материјала, не доводи до промена у индикатору циркуларног потенцијала појединачних компоненти. Она је приметна тек у анализи индикатора према фазама животног циклуса, јер они узимају у обзир и удео појединачних компоненти у укупној тежини фасадног сегмента. Код оптимизованих

модела ОА-2.1, ОА-2.2 и ОА-2.3 резултати прорачуна МСИ за појединачне компоненте остају на истим вредностима као код модела ОА-1. Исто тако, код модела ОВ-2.1, ОВ-2.2, ОВ-2.3 и ОВ-2.4, ове вредности су једнаке онима у моделу ОВ-1.

Резултати прорачуна индикатора циркуларног потенцијала за појединачне компоненте фасадних сегмената оптимизованих модела приказана је у Табели 15. Такође, на основу табеларног приказа може се закључити и у ком кораку поступка оптимизације се остварује највећа промена у вредности индикатора.

Табела 15. Резултати прорачуна индикатора циркуларног потенцијала за 1 животни циклус појединачних компоненти фасадних сегмената оптимизованих модела у односу на корак поступка оптимизације

Корак оптимизације	1			2		
	МА	ОАар/ОАас	ОА-1 ОА-2.1/2/3	МВ	ОВа	ОВ-1 ОВ-2.1/2/3/4
Модел						
Ал. профили оквира	0.758	0.972/0.977	0.988	0.758	0.977	0.988
Стаклени панел (ТИ)	0.28	0.458	0.458	0.28	0.458	0.458
Стаклени панел (ПИ)	0.28	0.458	0.458			
Алуминијумски панел (ПИ)				0.775	0.823	0.912
Термоизолација	0.294	0.655	0.793	0.294	0.655	0.793

Индикатор циркуларног потенцијала се затим рачуна за фазе изградње, употребе и краја животног века фасадних сегмената оптимизованих модела. Током овог прорачуна се за разлику од основних модела, не узимају у обзир два животног циклуса свих компоненти, већ је ово случај само код модела ОАар, ОАас и ОВа. Код ових модела све компоненте имају животни век од 25 година, док се код даље оптимизованих модела предвиђа животни век алуминијумских профила и панела, као и минералне вуне у трајању од 50 година. То има утицај само на резултат индикатора циркуларног потенцијала у употребној фази, док су за фазу производње и рушења релевантни подаци о уграђеној количини материјала, њиховом пореклу и третирању на крају животног циклуса.

Први корак оптимизације доводи до највећег пораста индикатора циркуларног потенцијала код модела ОАар, ОАас и ОВа, за око 50%. На ову фазу мањи утицај има примена стратегија у следећем кораку оптимизације код модела ОА-1 и ОВ-1. Мање промене вредности индикатора примећују се приликом примене стратегије редукације броја компоненти и уграђених материјала, у односу на смањење количине алуминијума у моделима ОА-2.1, ОА-2.2, ОВ-2.1 и ОВ-2.2. Међутим значајнија оптимизација забележена је у моделима ОВ-2.3 и ОВ-2.4 где оптимизација односа транспарентних и нетранспарентних поља у фасадном сегменту доводи до побољшања МСИ индикатора за фазу изградње.

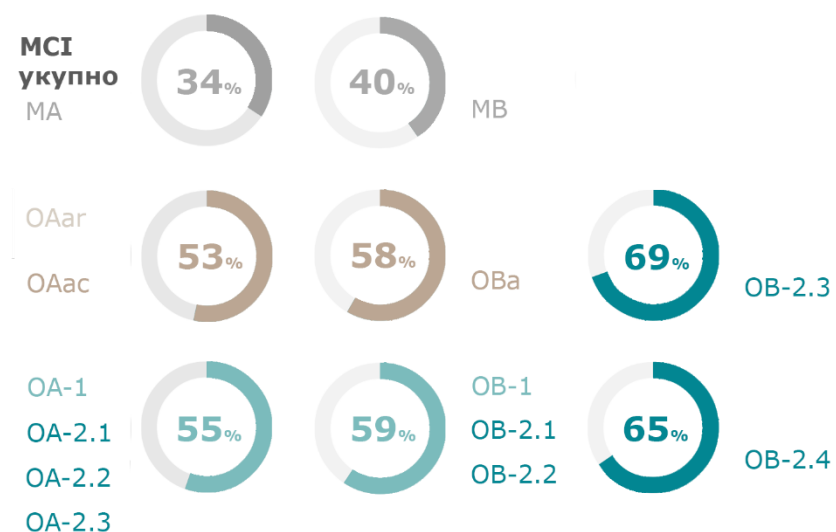
Супротно резултатима у фази изградње, оптимизација индикатора циркуларног потенцијала у фази рушења је мање значајна. Највећи утицај на немогућност ове фазе има чињеница да је стакло доминантан материјал у свим фасадним сегментима, а овај материјал је неповољан са аспекта третирања материјала на крају животног века јер је предвиђено одлагање на депонију.

Оптимизација животног века уграђених компоненти, омогућавање њиховог одвајања и поновне употребе се у највећој мери одражава на резултат индикатора

циркуларног потенцијала у употребној фази. Тада се код свих оптимизованих модела бележи значајан пораст вредности МСИ индикатора код модела ОА-1 и ОВ-1. Додатна оптимизација се не остварује код модела ОА-2.1, ОА-2.2, ОВ-2.1 и ОВ-2.2, јер се у њима количина уграђеног алуминијума у профилима оквира смањује, што заправо има негативан утицај на овај индикатор. Како индикатор циркуларног потенцијала у највећој мери зависи од уграђене количине материјала, смањење стакла које је са овог аспекта најмање повољно, води до најбољих резултата у моделима ОВ-2.3 и ОВ-2.4.

Утицај промена у количини уграђених материјала, њиховог порекла и предвођеног сценарија употребе на крају животног циклуса, затим демонтаже и животног века компоненти фасадног сегмента, је у наставку дисертације предмет детаљније анализе кроз компарацију основних и оптимизованих модела у односу на индикатор циркуларног потенцијала у фазама изградње, употребе и рушења (Поглавље 6).

Као што је објашњено у позадини нумеричког прорачуна индикатора циркуларног потенцијала, резултат укупног МСИ индикатора није једнак просечној вредности већ наведени индикатори који се односе на појединачне компоненте, као и индикатори који се односе на појединачне фазе животног циклуса имају различит утицај на њега. Анализом резултата укупног индикатора, уочава се да је након иницијалне оптимизације материјала дошло до значајног пораста вредности на 53% код модела ОАаг и ОАас, односно 58% у моделу ОВа (Слика 21), Међутим, у укупном резултату даље оптимизованих модела не долази до значајне оптимизације.



Слика 21. Резултати прорачуна укупне вредности индикатора циркуларног потенцијала за фасадне сегменте оптимизованих модела

У вредностима укупног индикатора циркуларног потенцијала се не сагледава утицај стратегија продужетка животног века компоненти и омогућавања њихове демонтаже, у чему се управо и огледа ограничење овог индикатора.

5.4.3 Резултати прорачуна утицаја на животну средину

Прорачун индикатора утицаја на животну средину је за оптимизоване моделе извршен на основу декларација производа за животну средину објашњених у инвентару за оцену животног циклуса, које су такође приказане у Прилогу 4. Сви представљени резултати се односе на животни век објекта од 50 година. У зависности од корака оптимизације и примењене стратегије циркуларне економије на фасадни сегмент оптимизованих модела резултати се односе на 1 или 2 животна циклуса компоненти. У моделима ОАаг, ОАас и ОВа за све компоненте се предвиђају два животна циклуса, док се у свим даље оптимизованим моделима за алуминијумске профиле и панеле, као и минералну вуну у оквиру прорачуна претпоставља један животни циклус. За компоненте са два животна циклуса се у фази Б подразумева замена, када се у обзир узима демонтажа компоненти, одлагање на отпад или рециклажа, и поновна производња.

Резултати прорачуна су анализирани појединачно за сваки од 11 индикатора утицаја на животну средину, уз осврт на промене у фазама животног циклуса у односу на примењене стратегије за оптимизацију. Такође, за сваки модел се идентификује компонента фасадног сегмента која има највећи утицај на индикаторе, у зависности од фаза животног циклуса. На тај начин се изводе закључци о утицајима сваког примењеног принципа и стратегије циркуларне економије на промене у фасадном омотачу.

5.4.3.1 Потенцијал глобалног загревања - *GWP tot*

Већ у првом кораку оптимизације, када се стратегије циркуларне економије примењују на нивоу материјала који се уграђују у фасадни сегмент, остварује се оптимизација потенцијала глобалног загревања код оба модела. Код оптимизованих модела ОАаг и ОАас разлика у резултату потиче од примене материјала различитог порекла у профилима унутрашњег оквира. Тиме укупна емисија CO_2 која се везује за производну фазу А алуминијумских профила износи 3,38t код модела ОАаг, и 2,92t код модела ОАас. Сличан резултат индикатора потенцијала глобалног загревања се примећује у фази А стаклених панела транспарентних поља: 3,46t CO_2 . Анализа емисије CO_2 у току целог животног циклуса, од фаза А до Ц, код ових модела тиме подразумева укупне емисије од 6,75t за алуминијум (5,84t модел ОАас), приближно 6,9t за стакло у оквиру транспарентних поља, 1,67t за стакло у пољима испуне и 0,168t за минералну вуну (Табела 16).

Други корак оптимизације води до додатне редукције потенцијала глобалног загревања код модела ОА-1, захваљујући примени омогућавању продужетка животног века профила оквира и минералне вуне у пољима испуне, када се емисија CO_2 која се везује за ове компоненте дупло смањује. Иако је омогућавање поновне употребе алуминијумских профила повезано са додатком материјала ради оптимизације поступка демонтаже, емисија CO_2 додатног профила је значајно мања у односу на остварену добит.

Примена стратегија ЦЕ на оптимизацију броја фасадних поља омогућава даљу редукцију *GWP*, на основу елиминисања одређених вертикалних профила унутрашњег оквира у фасадном сегменту. У овом кораку оптимизације највећи утицај на укупан резултат има редукција емисија угљен-диоксида за алуминијумске профиле на 2,6t CO_2 у моделима ОА-2.1 и ОА-2.3, односно на 2,28t CO_2 код модела ОА-2.2 (Табела 16). Емисије

које се везују за остале компоненте су од мањег значаја. У овим моделима се редуција остварује и захваљујући променама у фази Ц животног циклуса, на основу разлика у заптивци, чија се количина повећањем димензија фасадних поља. За ову компоненту се везују укупне емисије за фазе од А до Ц од 1,99tCO₂ за фазе од А до Ц код модела ОА-1, 1,58tCO₂ код модела ОА-2.1 и ОА 2.3, док се највећа редуција остварује код модела ОА-2.2 на укупно 1,59tCO₂.

Табела 16. Резултати прорачуна потенцијала глобалног загревања за фасадни сегмент оптимизованих модела ОА у односу на фазе животног циклуса

GWP tot kg CO ₂ eq.	A1-A3	B1- B5	Ц1- Ц4	Σ А-Ц	Д	Σ А-Д
Модел А	14,400	15,100	722	30,200	-5,470	24,800
Компонента са највећим уделом	AL-профили	AL-профили	EPDM		AL-профили	
Модел ОАaг	8,060	8,840	752	17,652	-5,620	12,032
% у односу на основни модел	-44.0	-41.5	4.2	-41.5		
Компонента са највећим уделом	Стаклени панели (ТИ) и AL-профили	Стаклени панели (ТИ) и AL-профили	EPDM		AL-профили	
Модел ОАас	7,240	8,020	752	16,012	-1,310	14,702
% у односу на основни модел	-49.7	-46.9	4.2	-47.0		
Модел ОА-1	7,620	5,290	745	13,655	-1,450	12,205
% у односу на основни модел	-47.1	-65.0	3.2	-54.8	-73.5	
Компонента са највећим уделом	Стаклени панели (ТИ) и AL-профили	Стаклени панели (ТИ)	EPDM		AL-профили	
Модел ОА-2.1	7,430	4,540	546	12,516	-1,850	10,666
% у односу на основни модел	-48.4	-69.9	-24.4	-58.6		
Модел ОА-2.2	6,930	5,110	609	12,649	-1,140	11,509
% у односу на основни модел	-51.9	-66.2	-15.7	-58.1		
Модел ОА-2.3	7,280	5,200	679	13,159	-1,300	11,859
% у односу на основни модел	-49.4	-65.6	-6.0	-56.4		

Анализа емисија у фази Д према резултату указује да су оптимизовани модели мање повољни од основног у овој фази животног циклуса, али је овај резултат последица генерално погрешног приступа приказивања података за фазу Д у декларацијама грађевинских производа.

Први корак поступка оптимизације води до значајне редуције емисије CO₂ код модела ОВа у односу на основни модел. Највеће разлике се односе на фазе А и Б животног циклуса фасадног сегмента. Разлике у фази А у највећој мери потичу од редуције CO₂ у производњи алуминијумских профила унутрашњег и спољашњег оквира. Само порекло материјала има утицај на смањење CO₂ на 3,61t у фази производње А, и на 3,66t у фази замене Б, док је додатна оптимизација остварена и у фази Ц у односу на основни модел. Укупна емисија CO₂ током фаза А до Ц за алуминијумске профиле у овом моделу износи 7,32t.

До редуције потенцијала глобалног загревања долази и захваљујући промени порекла стакла у оквиру стаклених термоизолационих пакета. Код модела ОВа оно је одговорно за 3.35t CO₂ у фазама А и Б, односно 0,54t у фази Ц. Укупна емисија CO₂ током фаза А до Ц за ову компоненту износи 6,81tCO₂. Компоненте термичког прекида и заптивке имају исте емисије као и код основног модела, јер не долази до промена у инвентару њихових материјала. Мањи утицај на укупну промену резултата имају

алуминијумски панели у пољима испуне са укупно 0,62tCO₂ за фазе од А до Ц, и минерална вуна са 0,3tCO₂.

Следећи корак оптимизације доводи до даље редукције потенцијала глобалног загревања у моделу ОВ-1, у највећој мери због продужетка животног века профила оквира, као и панела и минералне вуне у пољима испуне, када се емисија CO₂ која се везује за ове компоненте дупло смањује. Повећање фасадних поља води ка даљој оптимизацији у моделима ОВ-2.1 и ОВ-2.2. Код модела ОВ-2.1. се укупне емисије CO₂ за фазе од А до Ц повезују са 3,3t за компоненте оквира, 6,83 за стакло, 0,31t за панеле и 0,169t за термоизолацију. У моделу ОВ-2.2 су алуминијумски профили одговорни за емисију 2,97tCO₂, стаклени изолациони пакети за 6,86tCO₂, алуминијумски профили за 0,312 tCO₂ а минерална вуна за 0,171tCO₂.

Анализа резултата прорачуна потенцијала глобалног загревања указује на додатну оптимизацију овог индикатора код модела ОВ-2.3 и ОВ-2.4. Највећи утицај на остварену вредност има смањење емисије CO₂ која се везује за стаклене пакете на укупно 3,41t код модела ОВ-2.3, и 4,54t у моделу ОВ-2.4. Редукције које се остварују код ове компоненте су значајно веће у односу на повећање емисија које је последица додавања вертикалних нетранспарентних поља испуне. У моделу ОВ-2.3 је потенцијал глобалног загревања панела повећан који се односи на алуминијумске панеле на 0,78tCO₂ у моделу ОВ-2.3, и 0,623tCO₂ код ОВ-2.4. Утицај промена у количини уграђене минералне вуне је још мањи, со обзиром на вредност од 0,431tCO₂ код ОВ-2.3, и 0,341tCO₂ за фасадни сегмент оптимизованог модела ОВ-2.4.⁶⁴

У фази Ц се највећа емисија CO₂ везује за компоненту заптивке код свих оптимизованих модела. У односу на корак оптимизације ова компонента има емисију од укупно 1,78 tCO₂ за фазе од А до Ц код модела ОВ-1, ОВ-2.3 и ОВ-2.4. Количина се значајно редукује у моделима ОВ-2.1 на 1,59tCO₂ и ОВ-2.2 на 1,41tCO₂, редукцијом броја фасадних поља у сегменту. На резултате потенцијала глобалног загревања у фази Д највећи утицај имају алуминијумски профили, за које је као и код модела А вредност индикатора мање повољна ако посматрамо нумерички прорачун, иако се ради о непрецизном податку који је последица примењене декларације у инвентару.

Резултати прорачуна потенцијала глобалног загревања користе се и у даљем току истраживања за анализу укупне емисије угљен-диоксида које се везују за цео фасадни омотач на примеру хипотетичког високог објекта у Београду.

5.4.3.2 Потенцијал ацидификације, еутрофикације и формирања фотохемијског озона – AP, Epfr и POCP

Већ сама промена материјала који имају најнеповољнији утицај на потенцијал ацидификације, односно компоненти алуминијумских профила и стакла у првом кораку оптимизације код модела ОАар, ОАас и ОВа остварује уштеду у односу на основне моделе. Највећи утицај на оптимизацију резултата у овом кораку приметан је у фазама А и Б животног циклуса.

⁶⁴ Резултати прорачуна потенцијала глобалног загревања за фасадне сегменте оптимизованих модела ОВ у односу на фазе животног циклуса су доступни у Прилогу 6.

Како су код основних модела алуминијум и стакло имали подједнак утицај у фазама А и Б, код оптимизованих модела се ситуација мења због избегавања фазе Б за алуминијум. Међу оптимизованим моделима ОА-2.1, ОА-2.2 и ОА-2.3 се међутим не остварује значајан напредак смањењем броја компоненти односно повећањем димензија фасадних поља, у трећем кораку поступка оптимизације.⁶⁵

Већа разлика остварује се једино код модела В уколико посматрамо однос модела ОВ-1 и ОВ-2.3 (Табела 17). Код модела ОВ-1 у фази производње А највећи удео имају алуминијумски профили са 30.2molH, затим стаклени термоизолациони пакети са 14.17molH, односно укупно 29.14molH. Затим следи алуминијумски панел са укупно 1.82molH и минерална вуна са укупно 1.15molH. У фази Ц стакло има највећи удео. Код модела ОВ-2.3 се количине везане за стакло дупло смањују на укупно 14.57molH, док се за алуминијумске панеле повећава на 4.64molH а за минералну вуну на 2.98molH. Међутим, промена односа транспарентних и нетранспарентних површина има мањи утицај на укупни резултат у односу на алуминијумске профиле. Како код ових модела не долази до смањења њиховог броја, не редукује се потенцијал ацидификације везан за производњу алуминијумских профила, који у укупном резултату и даље имају највећи допринос у односу на све друге компоненте.

Табела 17. Резултати прорачуна потенцијала ацидификације оптимизованих модела ОВ у односу на фазе животног циклуса фасадног сегмента.

АР mol H+ eq.	А1-А3	Б1- Б5	Ц1- Ц4	Σ А-Ц	Д	Σ А-Д
Модел В	66.00	66.58	0.52	133.10	-27.81	105.29
Компонента са највећим уделом	AL-профили	AL-профили	Стаклени панели (ТИ)		AL-профили	
Модел ОВа	48.80	49.82	0.57	99.19	-10.52	88.67
% у односу на основни модел	-26.1	-25.2	9.6	-25.5		
Компонента са највећим уделом	AL-профили	AL-профили	Стаклени панели (ТИ)		AL-профили	
Модел ОВ-1	48.80	16.10	0.50	65.40	-10.52	54.88
% у односу на основни модел	-26.1	-75.8	-3.8	-50.9		
Компонента са највећим уделом	AL-профили	Стаклени панели (ТИ)	Стаклени панели (ТИ)		AL-профили	
Модел ОВ-2.1	45.94	16.00	0.49	62.43	-9.78	52.65
% у односу на основни модел	-30.4	-76.0	-5.8	-53.1		
Компонента са највећим уделом код свих даље оптимизованих модела	AL-профили	Стаклени панели (ТИ)	Стаклени панели (ТИ)		AL-профили	
Модел ОВ-2.2	43.08	15.89	0.48	59.45	-9.04	50.41
% у односу на основни модел	-34.7	-76.1	-7.7	-55.3		
Модел ОВ-2.3	46.29	8.80	0.36	55.45	-14.16	41.29
% у односу на основни модел	-29.9	-86.8	-30.8	-58.3		
Модел ОВ-2.4	45.97	11.16	0.40	57.53	-12.65	44.88
% у односу на основни модел	-30.3	-83.2	-23.1	-56.8		

За материјале од којих су сачињене компоненте фасадних сегмената оптимизованих модела се генерално везује већи потенцијал еутрофикације него код основних модела. Ово је последица примене савременијих декларација за животну средину производа који су део инвентара ових модела.

⁶⁵ Детаљни резултати прорачуна потенцијала ацидификације ресурса по фази животног циклуса оптимизованих варијанти модела А су приказани у Прилогу 6.

Тако сама оптимизација материјала у моделима ОАаг и ОАас доводи до благог раста потенцијала еутрофикације у односу на модел МА. Модел ОАас је са овог аспекта додатно неповољнији од ОАаг, због утицаја промене алуминијумских профила. Такође, за компоненте стаклених панела се везује већи потенцијал еутрофикације, за транспарентна поља око 0,05kgPO₄ и нетранспарентна око 0,013kgPO₄ укупно током фаза А, Б и Ц. Међутим први корак оптимизације код оба модела доводи до смањења вредности које се односе на минералну вуну, за коју се везује укупно око 214kgPO₄, што је значајна уштеда у односу на основне моделе.

Како се у моделу ОА-1 продужава животни век компоненти које имају најнеповољнији утицај на Epfr, долази до значајне оптимизације (Табела 18). Тиме се утицај ових материјала смањује само на фазу производње А, где су профили одговорни за 0,126kgPO₄, а минерална вуна за 0,107kgPO₄. У моделима ОА-2.1, ОА-2.2 и ОА-2.3 долази до минималне промене резултата, која се везује за редукују количине уграђеног алуминијума. Тако се за ову компоненту везује потенцијал еутрофикације од укупно 0,0126kgPO₄ код модела ОА-2.1 и ОА-2.3, док се најоптималнија вредност остварује код модела ОА-2.2 са 0,0098kgPO₄. Промене осталих компоненти не утичу значајно на укупан резултат.

Табела 18. Резултати прорачуна потенцијала еутрофикације оптимизованих модела ОА у односу на фазе животног циклуса фасадног сегмента

Epfr kg PO ₄ eq.	A1-A3	B1- B5	Ц1- Ц4	Σ А-Ц	Д	Σ А-Д
Модел А	0.25	0.28	0.02	0.54	-0.06	0.48
Компонента са највећим уделом	AL-профили	AL-профили	EPDM		AL-профили	
Модел ОАаг	0.26	0.28	0.01	0.55	-0.06	0.48
% у односу на основни модел	0.8	0.4	-6.7	0.4		
Компонента са највећим уделом	Минерална вуна	Минерална вуна	EPDM		EPDM	
Модел ОАас	0.31	0.33	0.01	0.65	-0.06	0.59
% у односу на основни модел	21.7	19.6	-6.7	19.9		
Компонента са највећим уделом	AL-профили и минерална вуна	Минерална вуна	EPDM		EPDM	
Модел ОА-1	0.33	0.11	0.01	0.45	-0.06	0.39
% у односу на основни модел	28.3	-59.3	-6.7	-16.9		
Компонента са највећим уделом	AL-профили и минерална вуна	EPDM	EPDM		EPDM	
Модел ОА-2.1	0.31	0.11	0.01	0.42	0.06	0.48
% у односу на основни модел	20.5	-61.8	-13.3	-22.1		
Компонента са највећим уделом код свих даље оптимизованих модела	AL-профили и минерална вуна	EPDM	EPDM		EPDM	
Модел ОА-2.2	0.29	0.10	0.01	0.40	-0.05	0.35
% у односу на основни модел	12.6	-64.7	-20.0	-27.4		
Модел ОА-2.3	0.31	0.11	0.01	0.42	-0.06	0.37
% у односу на основни модел	20.5	-61.8	-13.3	-22.1		

Код модела ОВа је разлика у односу на основни модел МВ још израженија, јер се ради о дупло већој вредности индикатора посматрано за фазе од А до Ц. Код њега се фазе од А до Ц везује потенцијал еутрофикације од 0,313kgPO₄ за алуминијумске профиле,

око 0,049kgPO₄ за стакло, 0,314kgPO₄ за алуминијумске панеле у пољима испуне и 0,214kgPO₄ за минералну вуну.⁶⁶

У оптимизованом моделу се редукује укупна вредност индикатора када се животни век компоненти оквира и поља испуне продужава, чиме се њихова вредност индикатора смањује за пола, јер се избегава фаза Б животног циклуса. Следећи корак оптимизације кроз редукацију броја компоненти доводи до бољих резултата у моделима ОВ-2.1 и ОВ-2.2. тако се у моделу ОВ-2.2 бележе најбољи резултати, јер је вредност индикатора сведена на само 0,128kgPO₄ за укупни животни циклус алуминијумских профила оквира током фаза од А до Ц.

Анализа резултата указује да следећи корак оптимизације има негативан утицај на потенцијала еутрофикације. До овога долази због повећања површине алуминијумских панела и минералне вуне који су са аспекта овог индикатора мање повољни од стакла. Тако је за компоненту алуминијумских профила укупан Е_{рfr} повећан на 0,397kgPO₄ у моделу ОВ-2.3, и на 0,317kgPO₄ код ОВ-2.4. Такође, вредност индикатора је довела до повећања за минералну вуну на 0,275kgPO₄ код модела ОВ-2.3, односно 0,218kgPO₄ код оптимизованог модела ОВ-2.4 за фазе од А до Ц. За разлику од тога вредност индикатора је у за стакло смањена на 0,025kgPO₄ за ОВ-2.3 и 0,033kgPO₄ за ОВ-2.4. Наведене компоненте имају минималан утицај на промене у фазама Ц и Д животног циклуса, где је заптивка и даље повезана са највећим потенцијалом Е_{рfr}.

Узимајући у обзир да су код основног модела на потенцијал формирања фото-хемијског озона највећи утицај имале компоненте профила оквира и двоструко изолованих термоизолационих стаклених пакета, сама оптимизација њихових материјала доводи до редукације индикатора већ у првом кораку код оба модела.

У оптимизованим моделима ОА_{аg} и ОА_{ас} за алуминијумске профиле унутрашњег оквира се везује вредност индикатора од око 20kgNMVOC за оба модела. Сличан ниво оптимизације везује се за стаклене панеле транспарентних поља где је вредност индикатора око 19kgNMVOC код оба модела, док се за стакло у пољима испуне везује 5kgNMVOC.

Оптимизација у другом кораку доводи до редукације индикатора РОСР захваљујући снижавању вредности алуминијума на само фазу А, односно укупно 11kgNMVOC. Промене у димензијама фасадних поља које воде до смањења уграђене количине алуминијума додатно снижавају ову вредност на приближно 10kgNMVOC у моделима ОА-2.1 и ОА-2.3, а најбољи резултат од само 8kgNMVOC се остварује код модела ОА-2.2.⁶⁷ Компоненте стаклених пакета у свим пољима остају на сличном нивоу као код претходно оптимизованих модела, док термоизолација има минималан утицај на промене резултата овог индикатора.

Анализа резултата прорачуна оптимизованих модела ОВ, такође указује на смањење потенцијала формирања фото-хемијског озона већ у првом кораку. Тада је

⁶⁶ У Прилогу 6 су приказани резултати прорачуна потенцијала еутрофикације ресурса по фази животног циклуса оптимизованих варијанти модела В.

⁶⁷ Резултати прорачуна потенцијала формирања фото-хемијског озона оптимизованих модела ОА по фази животног циклуса су доступни у Прилогу 6.

вредност индикатора код модела ОВа за алуминијумске профиле укупно око 27kgNMVOC и 18 kgNMVOC за стаклене панеле за фазе од А до Ц животног циклуса. Значајно мањи утицај имају алуминијумски панели са 2kgNMVOC, док се резултат минералне вуне само 0,14kgNMVOC. Код модела ОВ-1 се наведене суме за профиле, панеле и вуну своде на пола. На укупан резултат фаза Ц животног циклуса нема значајан утицај (Табела 19).

Следећи корак поступка оптимизације води до додатне редукације алуминијума на укупно 11kgNMVOC код модела ОВ-2.2. Значајне промене у вредности индикатора се примећују код додатно оптимизованих модела ОВ-2.3 и ОВ-2.4. Редукација броја транспарентних поља доводи до снижавања индикатора на укупно 9kgNMVOC за стаклене панеле модела ОВ-2.3, односно 12kgNMVOC за стакло модела ОВ-2.3. Иако овим долази до повећања потенцијала формирања фото-хемијског озона које се везује за производњу алуминијумских профила, промене у овом материјалу су знатно мањег обима - код модела ОВ-2.3 је РОСР 3kgNMVOC, а код модела ОВ-2.4 приближно 2kgNMVOC.

Табела 19. Резултати прорачуна потенцијала формирања фото-хемијског озона оптимизованих модела ОВ у односу на фазе животног циклуса фасадног сегмента

РОСР kg NMVOC eq.	А1-А3	Б1- Б5	Ц1- Ц4	Σ А-Ц	Д	Σ А-Д
Модел В	37.00	38.00	0.34	75.34	-14.00	61.34
Компонента са највећим уделом	AL-профили	AL-профили	Стаклени панели (ТИ)		AL-профили	
Модел ОВа	24.00	25.00	0.41	49.41	-5.00	44.41
% у односу на основни модел	-35.1	-34.2	18.6	-34.4		
Компонента са највећим уделом	AL-профили	AL-профили	Стаклени панели (ТИ)		AL-профили	
Модел ОВ-1	24.00	10.00	0.34	34.34	-5.00	29.34
% у односу на основни модел	-35.1	-73.7	-2.6	-54.4		
Модел ОВ-2.1	23.00	10.00	0.33	33.33	-4.00	29.33
% у односу на основни модел	-37.8	-73.7	-3.2	-55.8		
Компонента са највећим уделом	AL-профили	Стаклени панели (ТИ)	Стаклени панели (ТИ)		AL-профили	
Модел ОВ-2.2	22.00	10.00	0.33	32.33	-4.00	28.33
% у односу на основни модел	-40.5	-73.7	-3.8	-57.1		
Модел ОВ-2.3	22.00	6.00	0.22	28.22	-6.00	22.22
% у односу на основни модел	-40.5	-84.2	-36.6	-62.5		
Компонента са највећим уделом	AL-профили	Стаклени панели (ТИ)	Стаклени панели (ТИ)		AL-профили и AL-панели	
Модел ОВ-2.4	22.00	7.00	0.26	29.26	-6.00	23.26
% у односу на основни модел	-40.5	-81.6	-25.6	-61.2		

Код свих оптимизованих модела највећи утицај на вредност РОСР имају алуминијумски профили, осим код модела ОВ-2.3 када се због повећања површине нетранспарентних поља издваја и компонента алуминијумских панела.

5.4.3.3 Потрошња минералних и фосилних ресурса – ADPe и ADPf

Сви оптимизовани модели А и В бележе већу потрошњу минералних ресурса у односу на оптимизоване моделе у највећој мери због повећања утицаја алуминијумских профила. Резултати су последица новијих EPD декларација. У основним моделима је већина потрошње минералних ресурса повезана са стакленим панелима транспарентних

поља, али она остаје на истом нивоу и за моделе код којих је примењено оптимизовано стакло.

Код модела А се примећује разлика у зависности од врсте алуминијумског профила који се примењује, где боље резултате остварује модел ОАаг у односу на ОАас.⁶⁸ Код ових модела алуминијум се за фазу производње сваког циклуса везује количина од 0.018kgSb. За стаклене панеле по фази А и Б потрошња је око 0.004kgSb, што је слично у основним моделима. С обзиром да се за све наредне оптимизоване моделе заправо користи мање повољан алуминијум са аспекта потрошње минералних ресурса, модели оптимизовани у кораку 1 и 2 и даље бележе повећање у односу на основни модел, иако се у сваком наредном моделу количина у складу са редукацијом количине материјала смањује (Табела 20). Након значајног повећања у фазама А и Б код модела ОВа, укупна потрошња минералних ресурса се смањује за трећину код модела ОВ-1 захваљујући продужетку животног века алуминијумских профила и потпуном избегавању фазе Б. Даља оптимизација доводи до најбољих резултата за моделе ОВ-2.2 и ОВ-2.3 захваљујући управо редукацији алуминијумских профила.

Табела 20. Потрошња минералних ресурса оптимизованих модела ОВ у односу на фазе животног циклуса фасадног сегмента

ADPe kg Sb eq.	A1-A3	B1- B5	Ц1- Ц4	Σ А-Ц	Д	Σ А-Д
Модел В	0.0040	0.0050	0.00002	0.0090	0.0000	0.0090
Компонента са највећим уделом	AL-профили	AL-профили	EPDM		AL-профили	
Модел ОВа	0.0210	0.0220	0.00001	0.0430	-0.0004	0.0426
% у односу на основни модел	425.0	340.0	-23.5	377.0	98706.7	372.5
Модел ОВ-1	0.0210	0.0040	0.00001	0.0250	-0.0004	0.0246
% у односу на основни модел	425.0	-20.0	-29.4	177.4	98706.7	172.8
Компонента са највећим уделом	AL-профили	Стаклени панели (ТИ)	AL-профили		AL-профили	
Модел ОВ-2.1	0.0200	0.0040	0.00001	0.0240	-0.0004	0.0236
% у односу на основни модел	400.0	-20.0	-29.4	166.3	90114.8	162.1
Модел ОВ-2.2	0.0180	0.0040	0.00001	0.0220	-0.0003	0.0217
% у односу на основни модел	350.0	-20.0	-35.3	144.1	81284.2	140.3
Компонента са највећим уделом	AL-профили	Стаклени панели (ТИ)	Стаклени панели (ТИ)		AL-профили	
Модел ОВ-2.3	0.0200	0.0020	0.00001	0.0220	-0.0005	0.0216
% у односу на основни модел	400.0	-60.0	-35.3	144.1	108253.2	139.1
Модел ОВ-2.4	0.0200	0.0030	0.00001	0.0230	-0.0004	0.0226
% у односу на основни модел	400.0	-40.0	-35.3	155.2	101570.6	150.5

Први корак оптимизације материјала код оба модела доноси значаје разлике у потрошњи фосилних ресурса (ADPf) у највећој мери захваљујући промени алуминијумских профила и двоструко изолованих стаклених панела. Значајна разлика примећује се код оптимизованих модела ОАаг и ОАас, у односу на примењене алуминијумске профиле, који су код модела ОАаг одговорни за укупну потрошњу од

⁶⁸ Табеларни приказ резултата прорачуна потрошње минералних ресурса по фази животног циклуса оптимизованих варијанти модела А налази се у Прилогу 6.

119,5GJ (фазе А, Б и Ц), односно 62,5GJ за модел ОАас. Код ових модела, као и даље оптимизованог модела ОА-1, за стакло се везује потрошња од око 47GJ по фази производње А и Б за транспарентна поља (укупно око 97GJ), док је вредност за нетранспарентна поља укупно приближно 24,5GJ. Оптимизација у трећем кораку поступка доводи до даље редукције потрошње фосилних ресурса у моделима ОА-2.1, ОА-2.2 и ОА-2.3, у највећој мери због промене количине алуминијума. То води до редукције на укупно 55,6GJ за ову компоненту код модела ОА-2.1 и ОА-2.3, односно 48,69 GJ код оптимизованог модела ОА-2.2 (Табела 21). Код ових модела долази до минималне разлике у потрошњи фосилних ресурса за двоструко изоловане стаклене пакете и минералну вуну.

Табела 21. Потрошња фосилних ресурса оптимизованих модела ОА у односу на фазе животног циклуса фасадног сегмента

ADPf MJ	A1-A3	B1- B5	Ц1- Ц4	Σ А-Ц	Д	Σ А-Д
Модел А	202,650	203,890	992	407,532	-73,440	334,092
Компонента са највећим уделом	AL-профили	AL-профили	Стаклени панели (ТИ)		AL-профили	
Модел ОАаг	130,880	132,620	1,350	264,850	-69,300	195,550
% у односу на основни модел	-35.4	-35.0	36.1	-35.0		
Компонента са највећим уделом	AL-профили	AL-профили	Стаклени панели (ТИ)		AL-профили	
Модел ОАас	125,620	127,360	1,350	254,330	-16,540	237,790
% у односу на основни модел	-38.0	-37.5	36.1	-37.6		
Модел ОА-1	133,870	71,020	1,270	206,160	-18,300	187,860
% у односу на основни модел	-33.9	-65.2	28.1	-49.4		
Компонента са највећим уделом	AL-профили и Стаклени панели (ТИ)	Стаклени панели (ТИ)	Стаклени панели (ТИ)		AL-профили	
Модел ОА-2.1	131,220	62,670	1,120	195,010	-23,360	171,650
% у односу на основни модел	-35.2	-69.3	12.9	-52.1		
Модел ОА-2.2	118,380	69,230	1,190	188,800	-14,410	174,390
% у односу на основни модел	-41.6	-66.0	20.0	-53.7		
Модел ОА-2.3	126,160	70,150	1,230	197,540	-16,370	181,170
% у односу на основни модел	-37.7	-65.6	24.0	-51.5		

Код модела ОВА производња оптимизованих алуминијумских профила подразумева укупну потрошњу од 156,200MJ за фазе А до Ц, односно 77,270MJ по фази производње 1. и 2. циклуса. Редукција се такође остварује и код двоструко изолованих стаклених панела за које је по фази производње потребно 47,230MJ.

У наредном кораку оптимизације редукција се остварује на основу продужетка животног века алуминијумских профила, и додатно продужетком година употребе алуминијумских панела и минералне вуне у пољима испуне. Тако модел ОВ-1 остварује додатну редукцију у фази Б животног циклуса у односу на основни модел, јер потпуно елиминише други циклус производње наведених материјала. У фази производње А је потрошња ресурса за алуминијумске профиле редукована на око 4,5 GJ, а минералне вуне на 3,75GJ.

Даља оптимизација редукције броја компоненти односно повећавања димензија фасадних поља има мањи утицај на редукцију укупне потрошње фосилних ресурса. Код модела ОВ-2.1 и ОВ-2.2 потрошња фосилних ресурса се у највећој мери смањује због редукције броја алуминијумских профила, што се нарочито примећује у укупној суми

код модела ОВ-2.2 када вредност за алуминијум пада на 63,390MJ. Укупна потрошња фосилних ресурса за остале компоненте током фаза А, Б и Ц је код овог модела приближно 96,6GJ за стаклене пакете, 4,56GJ за алуминијумске панеле и 1,89GJ за минералну вуну.⁶⁹ Повећање димензија фасадних поља доводи и до смањења потрошње за термички прекид и заптивке код модела ОВ-2.1 и ОВ-2.2. Повећањем фасадних поља се минимално повећава потрошња ресурса у фази А за алуминијумски панел и минералну вуну.

Утицај оптимизације односа транспарентних и нетранспарентних поља у фасадном сегменту код оптимизованих модела ОВ-2.3 и ОВ-2.4 доводи до значајних промена утицаја компоненти на потрошњу ресурса целог фасадног сегмента. Тако су код модела ОВ-2.3 алуминијумски профили одговорни за укупну потрошњу ресурса од око 77,6GJ, стакло за 48 GJ, алуминијумски панели за 11,5GJ а минерална вуна за 4,82 GJ. Код модела ОВ-2.4 су ове вредности за профиле 74,9GJ, стакло приближно 64GJ, панели 9,12GJ а термоизолација 3,82GJ. Тиме је остварена највећа оптимизација потрошње фосилних ресурса код ова два модела, у односу на основни модел МВ.

5.4.3.4 Укупна потрошња обновљивих и необновљивих извора енергије - PERT и PENRT

Као и код основног модела фасадног сегмента МА, највећи утицај на укупну потрошњу обновљивих извора енергије у оптимизованим моделима има компонента алуминијумских профила унутрашњег оквира. Анализа резултата прорачуна указује на значајне разлике у зависности од инвентара односно порекла алуминијума код модела ОАаг и ОАас. Тако се у моделу ОАаг примећује да алуминијум који је рециклиран током производних процеса у фабрици негативно утиче на овај индикатор јер потрошња енергије повећава на укупно 109GJ за фазе од А до Ц, што је скоро дупло више него код основног модела. За разлику од тога на овај индикатор повољан утицај има примена алуминијума који је рециклиран након испуњеног животног века у другим производима. Тако је код модела ОАас за ову компоненту утрошено око 45GJ енергије добијене из обновљивих извора. С обзиром да је овај алуминијум употребљен у свим даље оптимизованим моделима, они остварују додатну редукацију потрошње енергије у односу на основни модел. Остале компоненте фасадног сегмента имају минималан утицај на овај индикатор код свих модела.

Други корак оптимизације када долази до продужетка животног века алуминијумских профила води до додатног побољшања резултата у моделу ОА-1. Овде је потрошња енергије у производној фази за алуминијум сведена на приближно 22,45GJ. Редукација броја профила у моделима ОА-2.1 и ОА-2.3 подразумева да се ова вредност умањује на око 20GJ, док се најбољи резултат остварује код модела ОА-2.2 – 17,54GJ (Табела 22). За остале компоненте у овом моделу везује се потрошња 15,62GJ за стаклене панеле транспарентних поља, 7,31GJ за оне у пољима испуне и само 0,301GJ за минералну вуну. Трећи корак оптимизације је тиме довео до редукације потрошње обновљивих извора енергије кроз оптимизацију фазе Б.

⁶⁹ Резултати прорачуна потрошње фосилних ресурса оптимизованих модела ОВ су доступни у Прилогу 6.

Иако је остварена укупна оптимизација на нивоу целог животног циклуса, сви оптимизовани модели А, бележе неповољнији резултат у фази Ц у односу на основни модел, што се везује за већу потребу енергије приликом скупљања и обраде алуминијумских профила за рециклажу и враћање у процес производње. Ова компонента има највећи утицај на резултате у фази Д животног циклуса.

Табела 22. Укупна потрошња обновљивих извора енергије оптимизованих модела ОА фасадних сегмената по фазама животног циклуса

PERT МЈ	А1-А3	Б1- Б5	Ц1- Ц4	Σ А-Ц	Д	Σ А-Д
Модел А	47,020	47,300	144	94,464	-24,210	70,254
Компонента са највећим уделом	AL-профили	AL-профили	EPDM		AL-профили	
Модел ОАаg	67,160	67,580	284	135,024	-30,680	104,344
% у односу на основни модел	42.8	42.9	97.3	42.9		
Компонента са највећим уделом	AL-профили	AL-профили	AL-профили		AL-профили	
Модел ОАас	31,910	32,330	283	64,523	-6,750	57,773
% у односу на основни модел	-32.1	-31.6	97.0	-31.7		
Модел ОА-1	34,870	12,550	297	47,717	-7,540	40,177
% у односу на основни модел	-25.8	-73.5	106.8	-49.5		
Компонента са највећим уделом	AL-профили	Стаклени панели (ТИ)	AL-профили		AL-профили	
Модел ОА-2.1	34,290	9,280	308	43,878	-10,310	33,568
% у односу на основни модел	-27.1	-80.4	114.2	-53.6		
Компонента са највећим уделом	AL-профили	Стаклени панели (ТИ)	AL-профили		AL-профили	
Модел ОА-2.2	29,790	12,390	258	42,438	-5,910	36,528
% у односу на основни модел	-36.6	-73.8	79.2	-55.1		
Модел ОА-2.3	32,330	12,470	277	45,077	-6,730	38,347
% у односу на основни модел	-31.2	-73.6	93.1	-52.3		

Редукција потрошње обновљивих извора енергије се остварује већ у првом кораку оптимизације код модела ОВа, у највећој мери због употребе алуминијума за профиле оквира који је произведен употребом сировина које су рециклиране након животног века у другим производима. Тако код овог модела потрошња пада на 27700MJ по фази А и Б, за ову компоненту, док код осталих не долази до значајне промене у односу на основни модел МВ. Тиме је укупна сума за фазе од А до Ц за алуминијум 55,8GJ, за стакло 15,36GJ, алуминијумске панеле 4,65GJ, а минералну вуну само 0,604GJ.⁷⁰

Следећи корак оптимизације који подразумева један животно циклус компоненти оквира води ка даљој оптимизацији у моделу ОВ-1, због елиминације фазе Б компоненте која има најнеповољнији утицај на овај индикатор. Поред тога долази и до продужетка животног века термоизолације и панела у пољима испуне, чиме се редукује потрошња обновљивих извора енергије за минералну вуну на укупно 0,32GJ и 2,34GJ за алуминијум током фаза од А до Ц.

Повећање димензија фасадних поља доводи до промене количине уграђеног алуминијума, те се са овог аспекта најбољи резултат у фази за постиже у моделу ОВ-2.2, када је за алуминијумске профиле потребно само 22,77GJ енергије у фази производње А. Утицај на оптимизацију фазе Б животног циклуса примећује се у моделима ОВ-2.3 и ОВ-2.4, када се редукује количина уграђеног стакла. Тако потрошња енергије за ову

⁷⁰ У Прилогу 6 су приказани резултати прорачуна укупне потрошње обновљивих извора енергије ресурса у односу на фазе фази животног циклуса оптимизованих варијанти модела В.

компоненту код модела ОВ-2.3 подразумева само 7,68GJ односно око 10,2GJ за модел ОВ-2.4. Промене које се код ових модела дешавају због повећања површине алуминијумских панела и минералне вуне имају мањи утицај на укупни резултат. У оптимизованом моделу ОВ-2.3 за панеле је потребно 5,87GJ а за термоизолацију 0,78GJ, док је код модела ОВ-2.4 за панеле потребно 4,68GJ и 0,61GJ за минералну вуну. Оптимизација у фази Ц животног циклуса се остварује у највећој мери у зависности од количине уграђеног алуминијума у профилима спољашњег и унутрашњег оквира фасадних поља. Такође, ова компонента има највећи утицај на фазу Д животног циклуса фасадног сегмента.

Као и код основних модела, резултати прорачуна потрошње необновљивих извора енергије су слични резултатима индикатора потрошње фосилних ресурса. Тиме се оптимизација еквивалентно остварује у највећој мери током првог корака примене стратегија на нивоу материјала код модела ОАаг, ОАас и ОВа, а затим и оптимизацијом демонтаже и животног века алуминијума у следећем кораку поступка оптимизације код модела ОА-1 и ОВ-1. Најбољи резултат постиже се код фасадног сегмента ОА-2.2 када производња компоненти подразумева следећу потрошњу необновљивих извора енергије: алуминијумски профили оквира 48,69 GJ, стаклени панели транспарентних поља 97,6 GJ, стаклени панели у оквиру поља испуне 24,55GJ и минерална вуна 1,88GJ. Резултати прорачуна за оптимизоване модела А су доступни у Прилогу 6.

Укупна потрошња необновљивих извора енергије за фазе животног циклуса од А до Ц је код модела ОВ-2.2 када је за алуминијумске профиле унутрашњег и спољашњег оквира потребно 63,44GJ, алуминијумске панеле поља испуне 4,57GJ, минералну вуну 1,92GJ, а стаклене панеле 96,63GJ (Табела 23).

Табела 23. Укупна потрошња необновљивих извора енергије оптимизованих модела ОВ фасадних сегмената по фазама животног циклуса

PENRT MJ	A1-A3	B1- B5	Ц1- Ц4	Σ А-Ц	Д	Σ А-Д
Модел В	249,190	250,910	1,520	501,620	-108,040	393,580
Компонента са највећим уделом	AL-профили	AL-профили	Стаклени панели (ТИ)		AL-профили	
Модел ОВа	149,930	151,840	1,520	303,290	-28,720	274,570
% у односу на основни модел	-39.8	-39.5	0.0	-39.5		
Компонента са највећим уделом	AL-профили	AL-профили	Стаклени панели (ТИ)		AL-профили	
Модел ОВ-1	149,930	66,660	1,340	217,930	-28,720	129,216
% у односу на основни модел	-39.8	-73.4	-11.8	-56.6		
Компонента са највећим уделом	AL-профили	Стаклени панели (ТИ)	Стаклени панели (ТИ)		AL-профили	
Модел ОВ-2.1	141,170	64,930	1,290	207,390	-26,680	180,710
% у односу на основни модел	-43.3	-74.1	-15.1	-58.7		
Модел ОВ-2.2	132,410	63,200	1,230	196,840	-24,640	172,200
% у односу на основни модел	-46.9	-74.8	-19.1	-60.8		
Модел ОВ-2.3	137,170	42,550	1,120	180,840	-39,150	141,690
% у односу на основни модел	-45.0	-83.0	-26.3	-63.9		
Компонента са највећим уделом	AL-профили	Стаклени панели (ТИ)	AL-профили и Стаклени панели (ТИ)		AL-профили и AL-панели	
Модел ОВ-2.4	137,760	49,660	1,170	188,590	-34,800	153,790
% у односу на основни модел	-44.7	-80.2	-23.0	-62.4		
Компонента са највећим уделом	AL-профили	Стаклени панели (ТИ)	Стаклени панели (ТИ)		AL-профили и AL-панели	

Код модела ОВ-2.3 и ОВ-2.4 долази до значајне оптимизације у трећем кораку поступка, јер се смањује количина стакла, иако се количина алуминијума повећава у односу на модел ОВ-2.2. Тако је код модела ОВ-2.4 за фазе животног циклуса А до Ц потребно укупно 74,9GJ за алуминијум, 64GJ за стакло, 9,12GJ за панеле и 3,82 GJ за минералну вуну. Код модела ОВ-2.3 је за исте компоненте потребно 77,6GJ за алуминијумске профиле оквира, само 48130MJ за двоструко изоловане стаклене пакете, око 13190MJ за алуминијумске панеле и 503MJ за минералну вуну (Табела 24).

На укупну потрошњу необновљивих извора енергије минимални утицај има фаза Ц односно крај животног циклуса компоненти, до које код оптимизованих модела долази до мањих промена у односу на основне. И у овој фази, као и у фази Д најоптималнији резултат се постиже код модела ОВ-2.3.

5.4.3.5 Одлагање штетног, неопасног и радиоактивног отпада – HWD, NHWD и RWD

Већ самом оптимизацијом материјала остварена је значајна уштеда количине штетног отпада код свих оптимизованих модела. По фази А и Б животног циклуса фасадног сегмента се производи само 7 килограма штетног отпада код модела ОВа, и само 5 килограма код модела ОАа.⁷¹ Ова количина је додатно редукована на само једну фазу производње профила у моделима ОА-1 и ОВ-1 где је додатно продужен животни век алуминијума. Тиме је остварена укупна уштеда штетног отпада од 32 килограма у моделу ОА-1, и 49 килограма у моделу ОВ-1. Исти резултат остварен је и код оптимизованих модела ОВ-2.3 и ОВ-2.4 (Табела 24).

Табела 24. Количина одложеног штетног отпада оптимизованих модела ОВ по фазама животног циклуса фасадног сегмента

HWD kg	A1-A3	B1- B5	Ц1- Ц4	Σ А-Ц	Д	Σ А-Д
Модел В	28	28	0.00001	56	-0.00004	56
Компонента са највећим уделом	AL-профили	AL-профили	EPDM		AL-профили	
Модел ОВа	7	7.0000	0.00001	14	-0.00001	14
% у односу на основни модел	-75.0	-75.0	0.0	-75.0		
Компонента са највећим уделом	AL-профили	AL-профили	Стаклени панели (ТИ)		AL-профили	
Модел ОВ-1	7	0.0001	0.00001	7	-0.00001	7
% у односу на основни модел	-75.0	-100.0	0.0	-87.5		
Компонента са највећим уделом	AL-профили	Стаклени панели (ТИ)	Стаклени панели (ТИ)		AL-профили	
Модел ОВ-2.1	6	0.0001	0.00001	6	-0.00001	6
% у односу на основни модел	-78.6	-100.0	0.0	-89.3		
Модел ОВ-2.2	6	0.0001	0.00001	6	-0.00001	6
% у односу на основни модел	-78.6	-100.0	0.0	-89.3		
Модел ОВ-2.3	7	0.0001	0.00001	7	-0.00001	7
% у односу на основни модел	-75.0	-100.0	-45.5	-87.5		
Модел ОВ-2.4	7	0.0001	0.00001	7	-0.00001	7
% у односу на основни модел	-75.0	-100.0	-27.3	-87.5		

⁷¹ Детаљни резултати прорачуна количина одложеног штетног отпада по фази животног циклуса оптимизованих варијанти модела А приказани су у Прилогу 6.

Повећање димензија фасадних поља у циљу даљег смањења броја алуминијумских профила у фасадним сегментима модела ОВ-2.1 и ОВ-2.2, води до даљег смањења отпада на 6kg, односно 4kg код модела ОА-2.2 и 5 килограма у фази производње код модела ОА-2.2. У односу на алуминијумске профиле, количина штетног отпада од осталих материјала је минимална, односно изражава се у грамима и милиграмима код оба модела. На основу резултата у фази Ц, који у потпуности потичу од транспарентних панела, закључује се да повећање или смањење количине свих осталих материјала нема велики значај за цео фасадни сегмент оптимизованих модела ОА и ОВ.

У генерисању неопасног отпада свих основних и оптимизованих модела највећи утицај имају алуминијумски профили у фази производње А, и стаклени панели у фазама Б и Ц, односно током фаза замене и рушења. Први корак оптимизације алуминијумских профила је супротно очекивањима довео до пораста количине неопасног отпада у фази производње, за обе врсте алуминијума *Hydro Reduxa* и *Circal*. У односу на основни модел повећање у фази А је 340 килограма код модела ОАас, односно 710 килограма код модела ОАар. Повећање потиче од основних прорачуна декларација за животну средину алуминијумских профила. Код модела ОА-1 у фази производње А количина отпада је додатно повећана због додатка алуминијума ради омогућавања процеса демонтаже и износи 2620 килограма.

Редукција броја вертикалних профила код модела ОА-2.2 има највећи утицај на смањење фазе А за 600 килограма у производњи алуминијума. У фазама Б и Ц свих модела најдоминантније је стакло, а на укупан резултат повећавање његове површине има мањи утицај него редукција алуминијумских профила (Табела 25).

Табела 25. Количина одложеног неопасног отпада оптимизованих модела ОА по фазама животног циклуса фасадног сегмента

NHWD kg	A1-A3	B1- B5	Ц1- Ц4	Σ А-Ц	Д	Σ А-Д
Модел А	1,950	6,360	4,420	12,730	-1,180	11,550
Компонента са највећим уделом	AL-профили	Стаклени панели (ТИ)	Стаклени панели (ТИ)		AL-профили	
Модел ОАар	2,660	6,920	4,260	13,840	-1,430	12,410
% у односу на основни модел	36.4	8.8	-3.6	8.7		
Компонента са највећим уделом	AL-профили	Стаклени панели (ТИ)	Стаклени панели (ТИ)		AL-профили	
Модел ОАас	2,290	6,540	4,260	13,090	-137	12,953
% у односу на основни модел	17.4	2.8	-3.6	2.8		
Модел ОА-1	2,620	4,290	4,270	11,180	-180	11,000
% у односу на основни модел	34.4	-32.5	-3.4	-12.2		
Компонента са највећим уделом	AL-профили	Стаклени панели (ТИ)	Стаклени панели (ТИ)		AL-профили	
Модел ОА-2.1	2,340	4,300	4,270	9,590	-143	9,407
% у односу на основни модел	20.0	-32.4	-3.4	-24.7		
Компонента са највећим уделом	AL-профили	Стаклени панели (ТИ)	Стаклени панели (ТИ)		AL-профили	
Модел ОА-2.2	2,060	4,310	4,270	10,640	-106	10,534
% у односу на основни модел	5.6	-32.2	-3.4	-16.4		
Модел ОА-2.3	2,340	4,300	4,270	10,910	-143	10,767
% у односу на основни модел	20.0	-32.4	-3.4	-14.3		

Као и код основног модела А, количине неопасног отпада код свих оптимизованих модела В су због количине алуминијумских профила веће него у оптимизованим варијантама модела А. Сама оптимизација алуминијума и стакла није донела значајне промене код модела ОВа. Највеће промене у даљим оптимизованим моделима

постигнуте су продужетком животног века алуминијума, односно елиминацијом производње у другом циклусу фасадног сегмента.

Након иницијалног повећања количине отпада у фази производње алуминијумских профила на 3210kg у моделима ОВа и ОВ-1, у даљој оптимизацији се ова количина смањује на 2920kg код модела ОВ-2.1, односно 2630kg код ОВ-2.2. Повећање димензије фасадних поља код модела ОВ-2.1 и ОВ-2.2, је у већој мери редуковало отпад алуминијума него што је повећало отпад од стакла, који је за по фази 10kg већи него код модела ОВ-1.⁷²

У моделима ОВ-2.3 и ОВ-2.4 редукација алуминијума у односу на оптимизовани модел ОВ-1 није значајна. Међутим укупна редукација отпада у ова два модела у односу на остале постигнута је оптимизацијом количине стакла и њеним директним утицајем на фазе Б и Ц. Код модела ОВ-2.3 чија је половина транспарентних поља са двоструко изолованим стакленим панелом замењена нетранспарентним панелима испуне, количина отпада стакла пала је на укупно 3430kg односно за 50%.

Додатна уштеда остварена је тиме што је повећање површине поља испуне, односно повећање алуминијумских профила и минералне вуне одговорно за знатно мању количину отпада него стаклени панел исте површине. Код модела ОВ-2.4 је због задржавања већег броја транспарентних поља количина отпада стакла око 2350kg по фазама Б и Ц, али је то и даље значајна уштеда у односу на моделе ОВ-1, 2.1 и 2.2.

У променама у фази Д, која је код свих оптимизованих модела мања него код основног модела, сагледава се утицај начина прорачуна вредности ове фазе у декларацијама производа за животну средину алуминијумских профила, које су коришћена као основ прорачуна. Иако према резултатима изгледа да је основни модел повољнији од оптимизованих, то је заправо последица примене примарних сировина у фази производње, за које се у декларацијама додељује већи потенцијал искоришћења у фази Д у односу на секундарне сировине. Због тога се овај податак не може узети као релевантан, већ се утицај примене стратегија циркуларне економије у процесу оптимизације процењује на основу укупне суме у фазама А, Б и Ц.

Као и у случају неопасног отпада, оптимизовани модели генеришу више радиоактивног отпада од основних због промене алуминијумских профила. За основне моделе коришћене су декларације производа из периода пре увођења новог стандарда, због чега количине радиоактивног отпада нису увек прецизно изражаване. С обзиром да се у оптимизованим моделима користе потпуно рециклирани материјали, податак о већој количини отпада у фази А је последица прецизнијег прорачуна декларација алуминијумских профила *Hydro Reduxa* и *Circal* из 2022. године.

Алуминијумски профили су код свих модела компонента за коју се везује највећа производња радиоактивног отпада, од чега је 90% везано за фазу њихове производње. Управо због овога је значајан продужетак времена њихове употребе, јер је ово омогућава смањење укупне количине отпада у моделу ОА-1 у односу на ОАаг и ОАас.

⁷² Табеларни приказ резултата одложене количине неопасног отпада по фази животног циклуса оптимизованих варијанти модела В се налази у Прилогу 6.

Укупна количина отпада се даље смањује за по додатних килограм у моделима ОА-2.1 и ОА-2.3, односно 2kg у моделу ОА-2.2 (Табела 26). Утицај отпада генерисаног током фазе рушења, је значајно мањи у односу на фазу производње за све моделе.

Табела 26. Количина одложеног радиоактивног тпада оптимизованих модела ОА по фазама животног циклуса фасадног сегмента

RWD kg	A1-A3	B1- B5	Ц1- Ц4	Σ А-Ц	Д	Σ А-Д
Модел А	8.00	8.00	0.01	16.01	-3.00	13.01
Компонента са највећим уделом	AL-профили	AL-профили	Стаклени панели (ТИ)		AL-профили	
Модел ОАаg	13.00	13.00	0.05	26.05	-4.00	22.05
% у односу на основни модел	62.5	62.5	380	62.7		
Компонента са највећим уделом	AL-профили	AL-профили	AL-профили		AL-профили	
Модел ОАас	13.00	13.00	0.05	26.05	-0.69	25.36
% у односу на основни модел	62.5	62.5	380	62.7		
Модел ОА-1	14.00	2.00	0.05	16.05	-0.79	15.26
% у односу на основни модел	75.0	-75.0	440	0.3		
Компонента са највећим уделом	AL-профили	Стаклени панели (ТИ)	AL-профили		AL-профили	
Модел ОА-2.1	14.00	1.00	0.05	15.05	-0.80	14.25
% у односу на основни модел	75.0	-87.5	420	-6.0		
Компонента са највећим уделом	AL-профили	Стаклени панели (ТИ)	AL-профили		AL-профили	
Модел ОА-2.2	12.00	2.00	0.04	14.04	-0.62	13.43
% у односу на основни модел	50.0	-75.0	340	-12.3		
Модел ОА-2.3	13.00	2.00	0.05	15.05	-0.70	14.35
% у односу на основни модел	62.5	-75.0	390	-6.0		

Слично остварење редукције укупне количине радиоактивног отпада је и код модела В где се почетна количина отпада смањује са укупно 34kg код модела ОВа на 18kg код модела ОВ-1.⁷³ Промена димензија поља доприноси даљој уштеди за по један килограм у сваком оптимизованом моделу. Продужетак употребе алуминијума довео је до промене у фази Б оптимизованих модела, где сада главна количина отпада потиче од стаклених панела. Ипак производња стаклених панела подразумева само 1 килограм код модела ОВа, ОВ-1, 2.1 и 2.2 по фази А и Б и 584g у моделу ОВ-2.3. Још мањи утицај имају алуминијумски панели, који чак у моделу ОВ-2.3 где их има значајно више него у осталим моделима, у фази А генеришу само 48g радиоактивног отпада.

У свим основним и оптимизованим моделима потенцијалне количине у фази Д везане су за алуминијумске профиле и избегавање стварања отпада њиховим враћањем у процес производње.

⁷³ Детаљни резултати прорачуна количина одложеног радиоактивног отпада по фази животног циклуса оптимизованих варијанти модела В приказани су у Прилогу 6.

5.5 ПРОРАЧУН ПРОМЕНА У ПОТРОШЊИ ЕНЕРГИЈЕ ХИПОТЕТИЧКОГ ОБЈЕКТА У ЗАВИСНОСТИ ОД ПРИМЕЊЕНИХ СТРАТЕГИЈА ОПТИМИЗАЦИЈЕ ФАСАДНОГ ОМОТАЧА

5.5.1 Дефинисање хипотетичког високог објекта у Београду

У циљу нумеричке провере емисије угљен-диоксида на основу потрошње уграђене и оперативне енергије основних и оптимизованих модела фасадних омотача одређен је хипотетички високи објекат у Београду пословне намене. Сви модели фасадних омотача проверавају се на идентичном хипотетичком објекту како би варијација резултата била зависна једино од фасаде.

За хипотетички високи објекат, на коме ће се испитивати утицај претходне оптимизације фасадних сегмената у односу на цео фасадни омотач објекта, дефинисани су следећи параметри релевантни за прорачун потрошње енергије:

Локација и оријентација

Локација објекта одређена је на основу предложених зона за изградњу високих објеката у оквиру Студије високих објеката Београда. Иако је ова студија укинута, препоруке дате у оквиру ње се узимају у обзир, јер осим тога што су у складу са Генералним планом Београда 2021, додатно сагледавају и саобраћајне, геолошке и урбанистичке погодности локација за изградњу високих објеката. Предметна локација одређује се у оквиру Зоне Г, јер је она једина у којој је било препоручено планирање објеката виших од 100 метара. У складу са тим, оријентација објекта прати матрицу Новог Београда, и иста је као оријентација објекта Ушће 2, односно дуже стране објекта имају фасаде оријентисане ка југо-западу и северо-истоку. Тачна парцела за хипотетички високи објекат није одређена, али је ближе одређивање локације објекта релевантно за прорачуна оперативне енергије која у великој мери зависи од климатских карактеристика места, оријентације и димензија објекта.

Висина

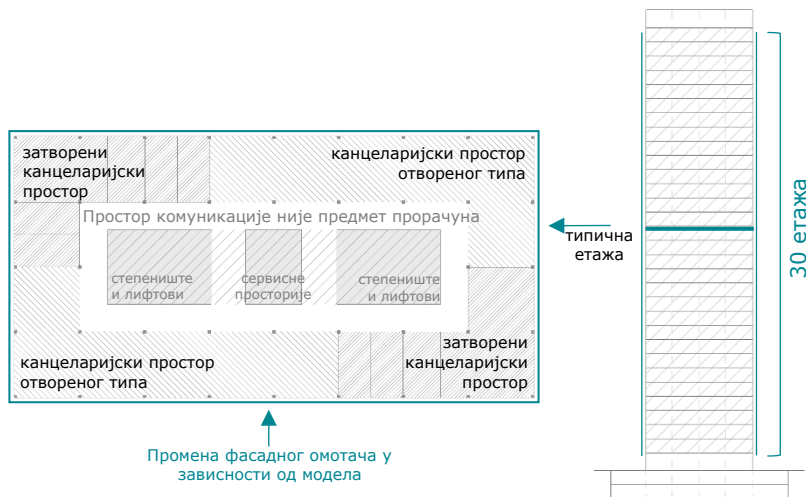
Висина објекта одређена је на основу анализе високих објеката изграђених у Београду у последњих 5 година као и објеката чија је изградња планирана током следећих година. Ове висине се крећу у распону од 50 до 220 метара, али је за предметни објекат предвиђена висина до 150 метара у складу са препорукама датих у оквиру Студије високих објеката Београда. Хипотетички објекат има две подземне етажу, приземље спратне висине 5 метара, 30 етажа спратне висине 4 метра, и последњу етажу висине 5 метара. Укупна висина објекта је 130 метара мерено од коте терена (Слика 22).

Форма

На основу анализе форме и димензије објеката изграђених у Београду и европским градовима сличних климатских карактеристика уочено је да највећи број објеката има правилну кубичну форму и ортогоналну основу. У складу са тим за хипотетички објекат на ком се проучавају одабрани модели фасада има правоугаону основу са приближним односом страница 1:2 (Слика 22).

Организација простора

У средишњем делу два армирано-бетонска језгра са по једним противпожарним степеништем и 3 лифта.⁷⁴ У централном делу налазе се и санитарне просторије као и друге помоћне просторије намењене функцијама које не захтевају директно природно осветљење. Уз фасаду се налазе пословни простори отвореног и затвореног типа, распоређени тако да се због релевантности прорачуна потрошње енергије за грејање и хлађење обухвате просторије различите оријентације (Слика 22).



Слика 22. Шематски приказ простора хипотетичког високог објекта који су предмет прорачуна и њима припадајућих делова фасадног омотача (Аутор)

Конструктивни систем

Претходно дефинисан и испитиван фасадни сегмент ширине 7.5 метара и висине 12 метара, прилагођен је конструктивном растеру стубова од 7.5 метара, и висини између таваница од 4 метра. За све елементе носеће конструкције, стубове, таванице и зидове језгра, предвиђен је армирани бетон, док су преградни зидови лаке монтажне конструкције. Завршне површине свих зидова и плафона су у складу са противпожарним условима за високе објекте.

Фасадни омотач

Карактеристике фасадних система основних и оптимизованих модела, које су претходно дефинисане за фасадне сегменте, се преузимају за прорачуне потрошње енергије на нивоу објекта. Укупна површина фасадног омотача хипотетичког објекта је 21.450,0m². Површина северо-источне и југо-западне фасаде хипотетичког објекта

⁷⁴ Унутрашња организација простора хипотетичког објекта пројектована је у складу са *Правилником о техничким нормативима за заштиту високих објеката од пожара* узимајући у обзир да најдужи евакуациони пут од просторије до сигурносног степеништа, кроз ходник са могућношћу евакуације на две стране, за објекте више од 75 метара не сме бити дужи 20 од метара. Такође узима се у обзир и да објекти висине преко 40 метара морају имати два сигурносна степеништа која воде директно до нивоа приземља. (Службени гласник РС. бр. 80/2015, 67/2017 и 103/2018).

износи по 6.825,00m². Површина југо-источне и северо-западне фасаде износи по 3.900,00m². За нумерички прорачун се од наведених површина одузимају делови фасадног омотача приземља и последњег спрата високог објекта, односно укупно 1.650,00m². Претпоставља се исти фасадни омотач на свим странама света иако то није оптимално са становишта потрошње енергије, али се свакако не тежи њеној оптимизацији већ само провери.

5.5.2 Провера утицаја оптимизације фасадног омотача на потрошњу оперативне енергије хипотетичког високог објекта у климатским условима Београда

5.5.2.1 Подаци за прорачун енергије током употребне фазе објекта

Појам оперативне енергије се односи на стварно утрошену енергију током употребне фазе животног циклуса једног објекта (модул Бб). Појмом је обухваћена потрошња енергије за хлађење, грејање, вентилацију, припрему санитарне воде, вештачко осветљење и употребу електричних уређаја (Славковић, 2016). Процена потрошње енергије током коришћења зграде се врши компјутерском симулацијом у односу на детаљне геометријске карактеристике објекта и параметре специфичних климатских карактеристика локације на којој је позициониран. Фасадни омотачи имају велики утицај на потрошњу енергије у високим објектима, као што је објашњено у Поглављу 2, због чега се и анализира провера претходне оптимизације на потрошњу енергије хипотетичког објекта. Сама потрошња енергије није циљ представљеног нумеричког прорачуна, већ утицај претходне оптимизације фасадних омотача применом принципа циркуларне економије на њену промену.

За прорачун потрошње енергије коришћен је софтвер *EcoDesigner STAR* у склопу програма *ArchicAD*, верзија 24. Сви неопходни подаци за прорачун су дефинисани у складу са Правилником о енергетској ефикасности зграда, 2011. Геометрија и оријентација објекта је дефинисана у основном програму, без одређеног контекста, како би прорачун био зависан само од фасадног омотача, а не и од могућег засенчења од објекта у околини. У софтверу се директно повезују подаци који се односе на климатске карактеристике на основу задате локације, и подразумевају просечну спољну температуру по месецима, интензитет ветрова, број сунчаних дана и интензитет сунчевог зрачења. Подаци су усклађени са статистиком Републичког хидрометеоролошког завода Србије. За прорачун се у обзир узима и број дана у грејној сезони, унутрашња температура за зимски период и летњи период.

Такође, неопходно је и дефинисати режим коришћења простора на основу кога се у софтверу аутоматски одређују подаци о вештачком осветљењу и електричној опреми у односу на намену коришћења простора. У склопу прорачуна дефинисане су две намене простора, канцеларије отвореног и затвореног типа. Намена простора одређује и број људи у објекту, што представља значајан податак за топлотно оптерећење које се добија од људске активности и неопходну измену ваздуха. Како циљ овог прорачуна није унапређење потрошње енергије током фазе коришћења, за симулације су предвиђени стандардни механички системи климатизације пословних простора. За све основне и оптимизоване моделе дефинишу се исти системи, како би промене у потрошњи енергије биле зависне једино од разлика у фасадном омотачу.

Параметри који су од изузетног значаја за тачан прорачун потрошње енергије се односе на топлотну проводљивост с фасадних компоненти. Максимална дозвољена вредности коефицијента пролаза топлоте за застакљене површине износи $1,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. За све вишеслојне компоненте програм сам израчунава вредност на основу појединачних материјала. За стаклене панеле се специфично дефинишу и додатне карактеристике према претходим прорачунима у софтверу *Calumen*.⁷⁵ Карактеристике двоструко изолованих стаклених панела у оквиру транспарентних поља које су значајне за прорачун оперативне енергије односе се на пролаз дневне светлости (68%), рефлексију дневне светлости (13%), соларни фактор односно g-вредност (0.35%) и топлотну проводљивост односно U-Коефицијент $1.027 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$. Наведене карактеристике се уносе као улазни подаци за све моделе, док се адаптација коефицијента пролаза топлоте у зависности од димензије фасадног поља тачније односа површине застакљења и оквира, аутоматски коригује у софтверу. Подаци о оквирима дефинисани су у односу на основне карактеристике фасадних система, различито за моделе А и В, према техничкој спецификацији и декларацијама добијеним од произвођача (Прилог 3).

У односу на предмет истраживања чији је главни фокус била оптимизација фасадних омотача применом стратегија циркуларне економије, потрошња енергије у модулу Б6 животног циклуса се користи у сврху провере утицаја поступка оптимизације. С тога се прорачун односи само на промене у утрошеној енергији за грејање и хлађење, на које фасадни омотач има значајан утицај, без детаљне анализе топлотних губитака кроз омотач објекта, топлотних оптерећења и соларних добитака. Подаци прорачуна се односе на канцеларијске просторе отвореног и затвореног типа позициониране уз фасаду, не узимајући у обзир стварну потрошњу енергије на нивоу целе основе спрата.

У стандардним прорачунима се оперативна енергија изражава у односу на корисну површину простора изражену у квадратним метрима на годишњем нивоу ($\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}$), на основу чега се у различитим сертификатима енергетске ефикасности објекти сврставају у одговарајуће енергетске разреде према финалној годишњој енергији за грејање. Међутим, у склопу овог истраживања у односу на претходни прорачун уграђене енергије, потрошња енергије се сагледава на основу емисије угљен-диоксида.

У зависности од прорачунате финалне енергије и енергената који се користи за рад система у згради, прорачунава се потрошња примарне енергије на основу фактора дефинисаних у *Правилнику о енергетској ефикасности зграда* (2011). У истраживању се претпоставља уобичајени избор природног гаса као главног енергента за систем грејања, за који је релевантан фактор претварања финалне у примарну енергију од 1,1. За електричну енергију фактор претварања је 2,5. Правилником је дефинисана и специфична емисија за поједине врсте енергената у односу на примарну енергију, по јединици горива или енергије, која у овом случају износи $0,20 \text{ kg}/\text{kWh}$ за природни гас и $0,53\text{kg}/\text{kWh}$ за електричну енергију.⁷⁶ Добијени подаци се изражавају у виду годишње

⁷⁵ За прорачун вредности које се односе на термичке карактеристике двоструких термоизолационих пакета коришћен је софтвер *Calumen* компаније *Saint-Gobain*, у коме се у зависности од конфигурације склопа стакленог пакета коју корисник сам задаје (дебљина, броја и врсте стакла, испуне и примене различитих премаза и фолија) одређују релевантни подаци који се користе за прорачун потрошње енергије.

⁷⁶ Подаци су табеларно наведени у Прилогу 6 Правилника о енергетској ефикасности зграда, Службени гласник РС. (бр. 61/2011).

емисије CO₂ (kg/a) и специфичних годишњих емисија према јединици површине објекта CO₂ (kg/m²a).

5.5.2.2 Оперативна енергија оптимизованих модела високог објекта изражена кроз емисију угљен-диоксида

За основне и све оптимизоване моделе је на основу компјутерских симулација прорачуната потрошња оперативне енергије за грејање и хлађење на годишњем нивоу. Прорачуном је обухваћен канцеларијски пословни простор уз фасадни омотач са све четири стране света, како би се добили што поузданији резултати. На овај начин обухваћене су промене у односу на оријентацију фасада током различитих годишњих доба, што је у климатским условима Београда, од изузетног значаја због великих температурних разлика током зиме и лета. Претходно наведени обим прорачуна указује на немогућност примене добијених резултата као основа за доношење закључака о потрошњи енергије за све процесе или корисне просторе у хипотетичкој објекту.

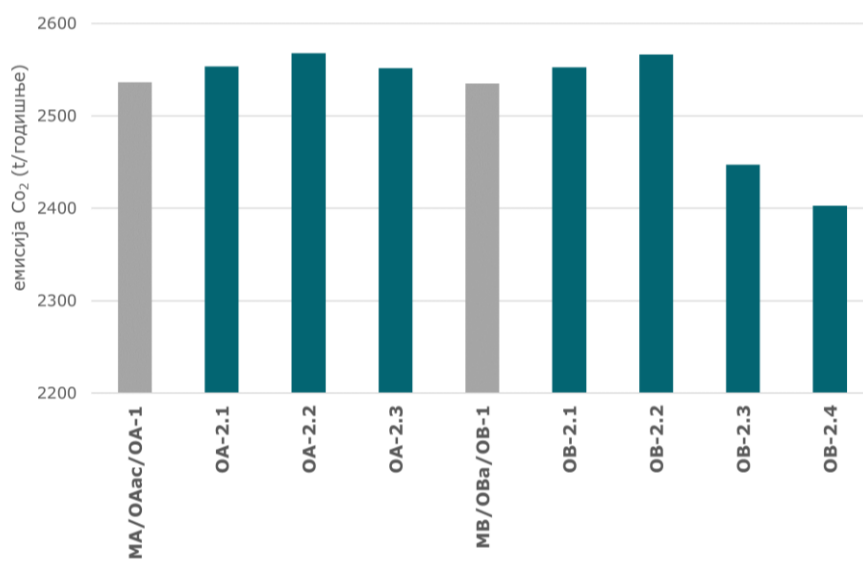
Циљ нумеричког прорачуна је провера утицаја примене стратегија циркуларне економије током различитих корака поступка оптимизације фасадног омотача, због чега се резултати оперативне енергије изражавају кроз поређење са основним моделом. На тај начин је омогућена анализа утицај примењених стратегија на побољшање потрошње енергије за грејање и хлађење, или чак њихов негативни утицај на исте. Да би резултати прорачуна му модулу Бб могли да се пореде са уграђеном енергијом, изражавају се кроз емисију угљен-диоксида. Према *Правилнику о енергетској ефикасности зграда* из 2011. године оперативна енергија се може изразити кроз емисију CO₂ у спољну средину који је настаје као последица енергетских потреба зграде током временског периода од једне године.

Резултати прорачуна потрошње енергије хипотетичког објекта на којима су примењени основни модели фасадног омотача указују на мале разлике између модела МА и МВ. Код оба модела је годишња емисија CO₂ око 2500 тона. Исти резултат се остварује и код модела где долази само до промена на нивоу материјала, с обзиром да термичке карактеристике фасадног омотача остају исте. Тиме на годишњем нивоу не долази до промене емисије угљен-диоксида код оптимизованих модела ОА_г, ОА_{ас} и ОВ_а. Такође, следећи корак оптимизације из истог разлога не доводи до промена у оптимизованим моделима ОА-1 и ОВ-1.

Међутим, примена стратегија циркуларне економије у трећем кораку поступка оптимизације, доводи до промена у укупној потрошњи енергије код наредних модела у којима долази до промене димензија фасадних поља. С обзиром да се код модела ОА-2.1 ширина транспарентних поља повећава на 1,5 метара, долази до повећања потрошње енергије за хлађење током летњег периода. Тиме је код овог модела укупна емисија CO₂ већа за више од 17t на годишњем нивоу у односу на основни модел МА. До још веће разлике долази код модела ОА-2.2 када су транспарентна поља ширине 1,875 метара и сходно томе повећање укупне потрошње енергије за 31tCO₂ у поређењу са МА. У односу

на ове моделе бољи резултат остварен је комбинацијом фасадних поља у моделу ОА-2-3, где се у односу на МА емисија угљен-диоксида повећава за преко 15t (Слика 23).

Слични резултати повећања емисије CO₂ се примећују и код модела ОВ-2.1 и ОВ-2.2, приликом истог повећања димензија поља у фасадном омотачу. Међутим, до значајне редукције потрошње оперативне енергије долази код модела ОВ-2.3 и ОВ-2.4 јер се значајно смањује потрошња енергије за хлађење у летњем периоду. Тако се код модела ОВ-2.3 остварује редукција од око 88tCO₂ у односу на основни модел МВ, а код модела ОВ-2.4 се укупна емисија угљен-диоксида на годишњем нивоу смањује за више од 150 тоне у односу на МА (Слика 23). До овакве оптимизације у укупној количини примарне оперативне енергије долази због повећања нетранспарентних површина фасадног омотача код ових модела.



Слика 23. Потрошња оперативне енергије изражена кроз годишњу емисију угљен-диоксида за фасадне омотаче основних и оптимизованих модела (Аутор)

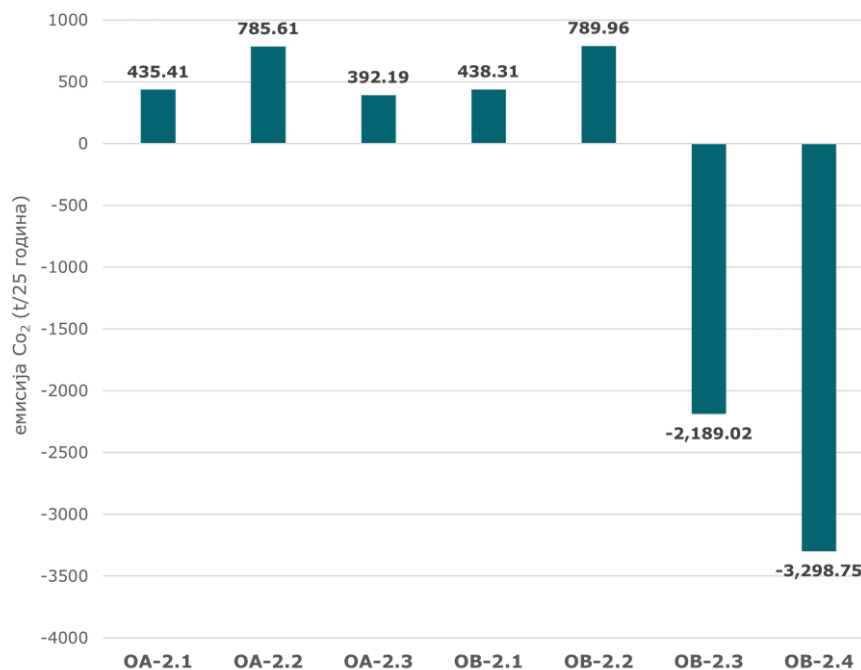
Како би се проценио утицај примењених стратегија током целокупног животног циклуса хипотетичког високог објекта годишње емисије угљен-диоксида које се односе на потрошњу енергије током употребне фазе су прерачунате за периода од 25 година. Тиме се добија резултат за модул Бб животног циклуса на нивоу целог објекта за његов предвиђени животно век од 50 година.

Анализа резултата емисије CO₂ која је последица потрошње примарне енергије за грејање и хлађење објекта, додатно указује на разлике између оптимизованих модела. Наиме, за оптимизовани модел ОА-2.1 се везује повећање од 435tCO₂ у односу на основни модел, док је ова разлика још већа код модела ОА-2.2 због повећања емисије угљен-диоксида за око 786 тона у односу на основни модел МА током периода од 25 година. До мањег повећања долази код модела ОА-2.3 (за око 392 тоне), што показује да је претходна примена стратегија фасадног омотача довела до негативног утицаја на све оптимизоване моделе ОА (Слика 24).

Слични резултати забележени су и код модела ОВ-2.1 и ОВ-2.2, код којих такође долази до повећања емисије CO₂ током употребне фазе хипотетичког високог објекта. Код оптимизованог модела ОВ-2.1 долази до повећања за око 439tCO₂ у односу на

основни модел, док је ова разлика код модела ОВ-2.2 већа за скоро 780 тона од модела МВ за временски период од 25 година.

Супротно резултатима свих претходно објашњених модела, код модела ОВ-2.3 и ОВ-2.4 оптимизација фасадног омотача са становишта циркуларне економије истовремено доводи и до оптимизације потрошње оперативне енергије током употребне фазе објекта. До разлике у потрошњи енергије за грејање и хлађење, односно њеној редукацији, долази због промене односа транспарентних и нетранспарентних површина фасадног омотача. Код ових модела се редукује емисија угљен-диоксида за приближно 2,190tCO₂ код модела ОВ-2.3 и око 3,290tCO₂ код модела ОВ-2.4 током употребне фазе високог објекта у трајању од 25 година (Слика 24).



Слика 24. Резултати прорачуна разлика у емисији CO₂ у употребној фази хипотетичког објекта током 25 година, у зависности од оптимизације фасадног омотача код модела ОА и ОВ у односу на основне моделе (Аутор)

Систематизацијом сазнања о емисији угљен-диоксида која се везује за потрошњу примарне оперативне енергије за грејање и хлађење на нивоу хипотетичког високог објекта у Београду, закључује се да је претходна примена принципа циркуларне економије имала негативан утицај на потрошњу енергије код већине оптимизованих модела. Примена стратегија у циљу оптимизације фасадног омотача са аспекта ЦЕ, је једино код модела ОВ-2.3 и ОВ-2.4 истовремено утицала и на редукацију потрошње оперативне енергије, и укупне емисије CO₂.

6. ДИСКУСИЈА РЕЗУЛТАТА И ПРОЦЕНА УТИЦАЈА ПРИМЕЊЕНИХ ПРИНЦИПА И СТРАТЕГИЈА ЦИРКУЛАРНЕ ЕКОНОМИЈЕ

6.1 ДИСКУСИЈА РЕЗУЛТАТА ПРОРАЧУНА ЦИРКУЛАРНОГ ПОТЕНЦИЈАЛА И УТИЦАЈА НА ЖИВОТНУ СРЕДИНУ НА ОСНОВУ УПОРЕДНЕ АНАЛИЗЕ ФАСАДНИХ СЕГМЕНАТА ОСНОВНИХ И ОПТИМИЗОВАНИХ МОДЕЛА

6.1.1 Индикатор циркуларног потенцијала у односу на оптимизацију материјала, демонтаже и животног века компоненти

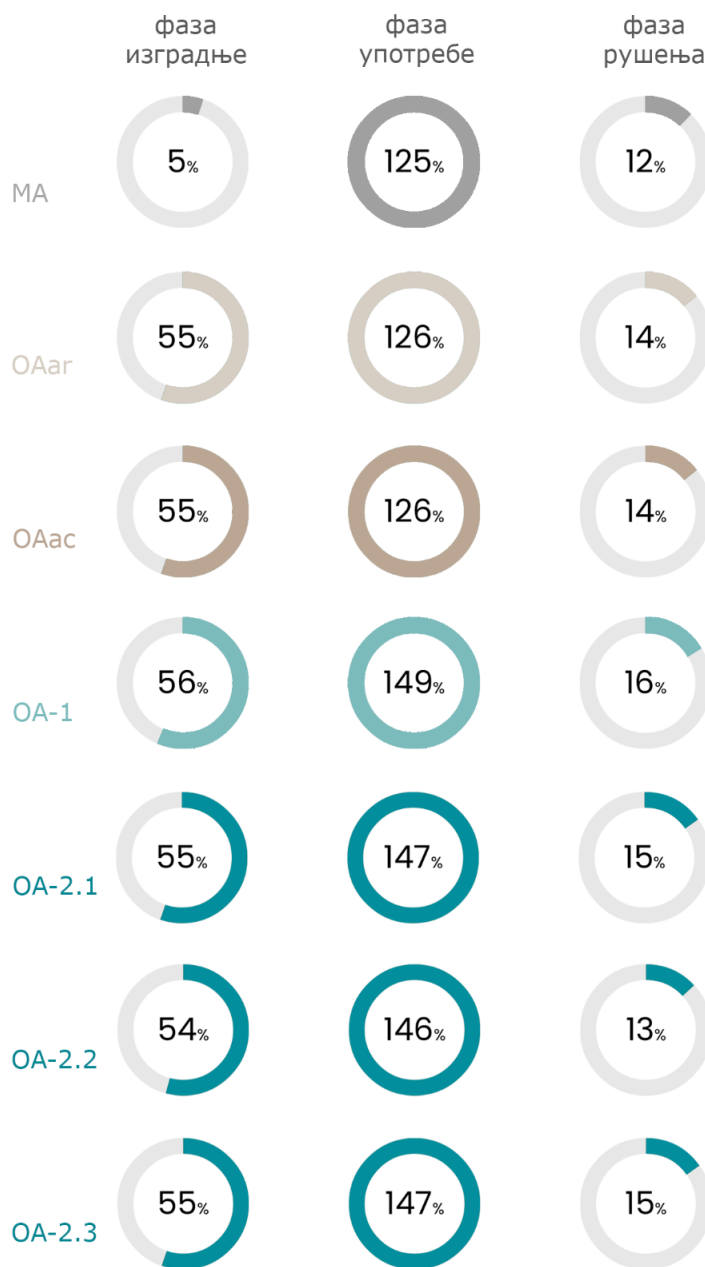
На индикатор циркуларног потенцијала утиче претходно објашњено порекло материјала од којих је свака компонента сачињена, могућности њихове поновне употребе на крају животног циклуса, као и њихов предвиђени животно век у оквиру фасадних система. Поред тога на вредности МСИ утиче и омогућавање демонтаже веза у фасадним сегментима, чиме се обезбеђује потпуно одвајање компоненти и њихова директна поновна употреба.

Анализом оптимизованих модела А се утврђује да се најзначајнији пораст индикатора циркуларног потенцијала у фази изградње бележи већ у првом кораку оптимизације. Тако је резултат код оптимизованих модела ОАар, ОАас за чак 50% већи у односу на основни модел МА. Оптимизација је остварена значајним порастом удела секундарних сировина у алуминијумским профилима, двоструким термоизолационим стакленим пакетима и минералној вуни. Додатно повећање од 1% остварено је код модела ОА-1, захваљујући већој тежини уграђених алуминијумских профила приликом оптимизације демонтаже фасадног система. Оптимизација модела А у следећем кораку, води до минималних разлика МСИ, које су зависне од односа уграђене количине алуминијума и стакла у фасадним сегментима (Слика 25).

За разлику од фазе изградње, оптимизација индикатора циркуларног потенцијала у фази рушења је мање значајна. Утицај на овакав резултат у највећој мери има чињеница да је код овог модела стакло најдоминантнији материјал, а да је за њега на крају животног века предвиђено одлагање на депонију, као код основних модела. Минималне разлике МСИ индикатора у овој фази потичу од унапређења поступка третирања минералне вуне на крају животног века и мењају се у зависности од њеног удела у фасадним сегментима испитиваних модела (Слика 25).

Други корак оптимизације, који подразумева продужетак животног века компоненти фасадног сегмента се у највећој мери одражава на индикатор циркуларног потенцијала у фази употребе. Тако је у оптимизованом моделу ОА-1 вредност индикатора порасла на 149% захваљујући омогућавању одвајања основне алуминијумске конструкције оквира и самим тим продужетка животног века алуминијумских профила. Утицај на ову промену има и продужетак животног века минералне вуне у оквиру поља испуне. Оптимизација у наредним корацима, води до минималних промена у

индикаторима циркуларног потенцијала у фази употребе код модела ОА-2.1, ОА-2 и ОА-2.3, који бележе ниже вредности, јер се редукује укупна количина уграђених материјала (Слика 25). Као и код основних модела, вредност МСИ свих оптимизованих модела прелази 100%, јер је претпостављени животни век фасадног сегмента од 25 година виши од виши од у софтверу предвођеног животног века за фасадни омотач од 20 година, који је заснован на генералном просеку различитих типова фасада.

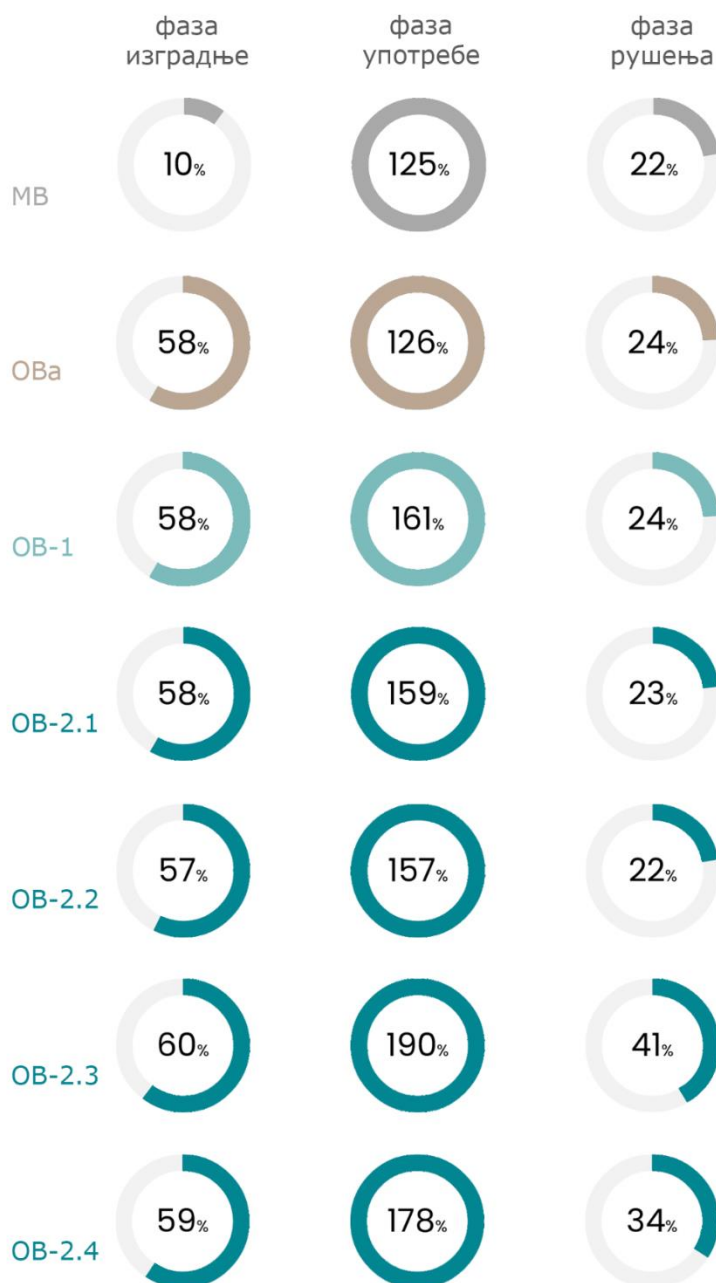


Слика 25. Резултати прорачуна индикатора циркуларног потенцијала фасадног сегмента оптимизованих модела А у односу на фазе животног циклуса

Резултати прорачуна оптимизованих модела ОВ указују да је као код модела ОА, највећа оптимизација индикатора циркуларног потенцијала у свим фазама остварена већ у првом кораку. Вредност МСИ се тако повећана за 58% код модела ОВа у односу на основни модел МВ. То је остварено у највећој мери порастом удела секундарних

сировина у алуминијумским профилима, термоизолационим стакленим пакетима и минералној вуни.

До повећања вредности индикатора не долази код модела ОВ-1 и ОВ-2.1, док се код модела ОВ-2.2 бележи смањење, јер се повећава количина стакла, а смањује алуминијум, који је са овог аспекта повољнији материјал. Међутим следећи корак оптимизације, доноси даље побољшање МСИ индикатора за фазу изградње у моделима ОВ-2.3 – на 60% и ОВ-2.4 - на 59%. Најбољи резултат остварује се код оптимизованог модела ОВ-2.3, јер се повећава количина алуминијумских панела, а редукује стакло (Слика 26).



Слика 26. Резултати прорачуна индикатора циркуларног потенцијала фасадног сегмента оптимизованих модела В у односу на фазе животног циклуса

Индикатор циркуларног потенцијала у фази употребе за моделе ОВ остварује још већу оптимизацију него код модела ОА. Ово је последица чињенице да се у овим моделима фасадног сегмента продужава и животни век завршне облоге компоненти у пољима испуне што у моделу А није случај. Тиме вредност МСИ код модела ОВ-1 достиже 161%. Резултат је нешто нижи код модела ОВ-2.1 и ОВ-2.2, јер они подразумевају смањење количине уграђеног алуминијума који је заправо имао позитиван утицај на индикатор.

Ипак, даља оптимизација у кораку 3, доводи до значајних промена у индикатору циркуларног потенцијала. У фази употребе се у моделу ОВ-2.4 остварује вредност МСИ од 178%, захваљујући промени односа удела стакла и алуминијумских профила. Наиме, утицај на промену у највећој мери има чињеница да панели имају животни век од 50 година те њихово повећавање значајно оптимизује вредност индикатора у овој фази. Додатна оптимизација се остварује код модела ОВ-2.3, јер је број транспарентних поља и вертикалних нетранспарентних поља једна, чиме вредност МСИ у фази употребе расте на 190% (Слика 26).

Оптимизација индикатора циркуларног потенцијала у фази рушења је минимална у моделима ОВа, ОВ-1, ОВ-2.1 и ОВ-2.2, што указује да примена стратегија циркуларне економије у првом и другом кораку оптимизације није остварила никакав допринос. До значајног унапређења долази међутим у следећем кораку оптимизације код модела ОВ-2.3 на 41%, односно 34% за модел ОВ-2.4. Највећи утицај на промену индикатора у овим моделима има редуција количине стакла и повећање површине алуминијумских панела и количине уграђене минералне вуне (Слика 26). Инвентар материјала ових компоненти је подразумевао већи потенцијал искоришћавања у сврху рециклаже на крају животног века, од стакла за које се подразумевало одлагање на депонију. Резултати указују на значај примене стратегије редуције материјала који се не могу оптимизовати са становишта циркуларне економије, у овом случају стакла.

Анализом поступка нумеричког прорачуна основног индикатора циркуларног потенцијала и узимања у обзир додатно прилагођеног прорачуна на платформи Мадастер, утврђују се подаци односно прорачуни који имају највећи утицај на појединачне фазе животног циклуса зграде. Резултат индикатора у фази изградње зависиће у највећој мери од масе производа односно уграђених материјала, порекла материјала односно процентуалног удела примарних и секундарних сировина.

Резултат у фази употребе зависи у потпуности од функционалног животног века употребљених производа и у њему се најбоље огледа значај омогућавања продужетка временског периода коришћења компоненти фасадног сегмента. На вредности индикатора у фази рушења највећи утицај има количина материјала која је доступна за поновну употребу или даљу рециклажу, као и ефикасност процеса сакупљања материјала приликом демонтаже на крају животног века.

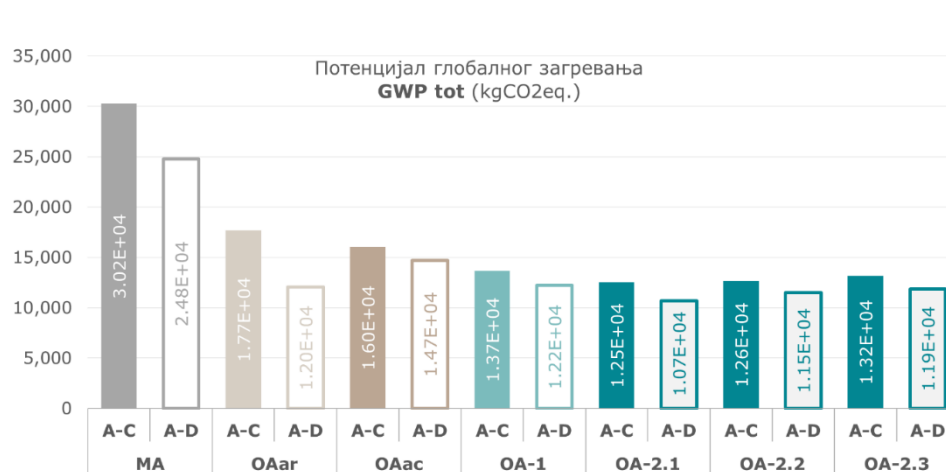
6.1.2 Утицаји на животну средину фасадних сегмената

Потенцијал глобалног загревања - *GWP tot*

Компаративна анализа прорачуна потенцијала глобалног загревања указује да је код свих оптимизованих модела остварена редукција вредности индикатора у односу на основне моделе.

Примена стратегија циркуларне економије у првом кораку поступка оптимизације на нивоу уграђених материјала, доводи до значајно мање емисије угљен-диоксида за фасадне сегменте оба модела. Највећи утицај на оптимизацију има промена алуминијумских профила и стакла. Тиме се код модела ОАар остварује редукција од 41,5% у односу на основни модел МА, и додатно код модела ОАас - 47% захваљујући применом алуминијума који је рециклиран након употребе у другим производима. Сличан резултат остварује се за модел ОВa , код кога се у односу на МВ потенцијал глобалног загревања смањује за око 51%.

Следећи корак оптимизације води до додатне редукције емисија CO₂ код модела ОА-1 и ОВ-1, у највећој мери због продужетка животног века алуминијумских профила у компоненти оквира и минералне вуне у пољима испуне. За фасадни сегмент модела ОА-1 остварује се редукција *GWP* индикатора за 54,8% у односу на основни модел (Слика 27), док је код модела ОВ-1 оптимизација још израженија, јер се емисија CO₂ смањује за 62,4% у односу на МВ (Слика 28). Код модела ОА-1 је омогућавање поновне употребе алуминијумских профила повезано са иницијално већом количином уграђеног материјала ради оптимизације поступка демонтаже, али је утицај емисије CO₂ додатно профила значајно мања у односу на остварену укупну оптимизацију потенцијала глобалног загревања фасадног сегмента. У овом кораку је код модела ОВ-1 додатно продужен животног век алуминијумских панела у пољима испуне, што има значајан утицај на укупни резултат потенцијала глобалног загревања.

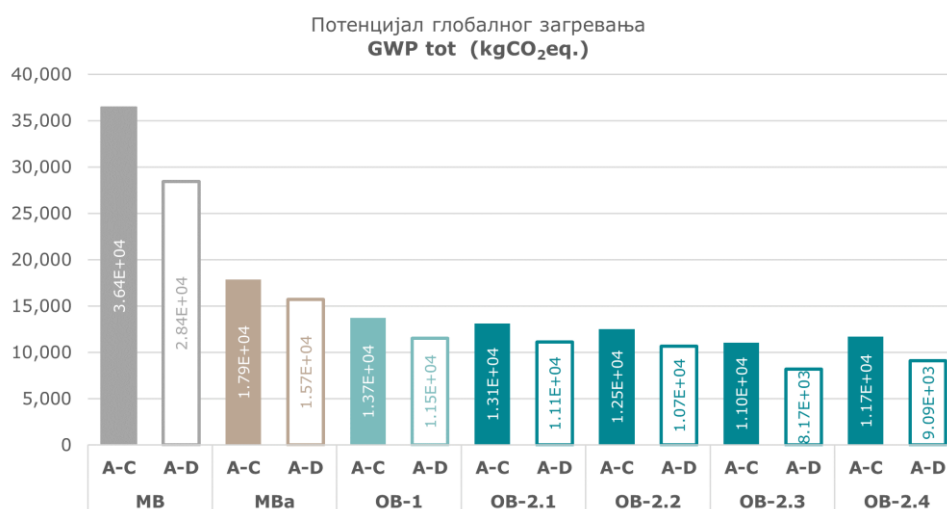


Слика 27. Компаративни приказ потенцијала глобалног загревања основног модела А и његових оптимизованих варијанти – сагледавање односа укупне суме за фазе животног циклуса А, Б и Ц и редукцију у случају узимања у обзир и фазу Д (Аутор)

У трећем кораку поступка оптимизације омогућена је додатна редукција *GWP*, на основу смањења броја вертикалних алуминијумских профила приликом повећавања ширине фасадних поља. Тада се код модела ОА-2.1 остварује редукција индикатора за

58,6% а код модела ОА-2.2 за 58,1% у односу на МА. Комбинација фасадних поља различитих димензија у моделу ОА-2.3 остварује мању оптимизацију емисија CO₂ односно 56,4% у односу на основни модел (Слика 27).

Повећање фасадних поља води ка даљој оптимизацији и у моделима ОВ-2.1 и ОВ-2.2, када први остварује уштеду емисије CO₂ од 64%, а други од 65,6% у односу на основни модел МВ. Редукција компоненти за које се везују веће емисије угљен-диоксида који води ка додатној оптимизацији код модела ОВ-2.3 и ОВ-2.4. Највећи утицај на остварену вредност има смањење емисије CO₂ која се везује за двоструко изоловане стаклене пакете и њихову замену пољима испуне, који са аспекта овог индикатора имају повољнији утицај на животну средину. Тако је код модела ОВ-2.3 потенцијал глобалног загревања за 69,7% нижи него код основног модела, док се сличан резултат остварује и код ОВ-2.4 -68% (Слика 28).



Слика 28. Компаративни приказ потенцијала глобалног загревања основног модела В и његових оптимизованих варијанти – сагледавање односа укупне суме за фазе животног циклуса А, Б и Ц и редукцију у случају узимања у обзир и фазу Д (Аутор)

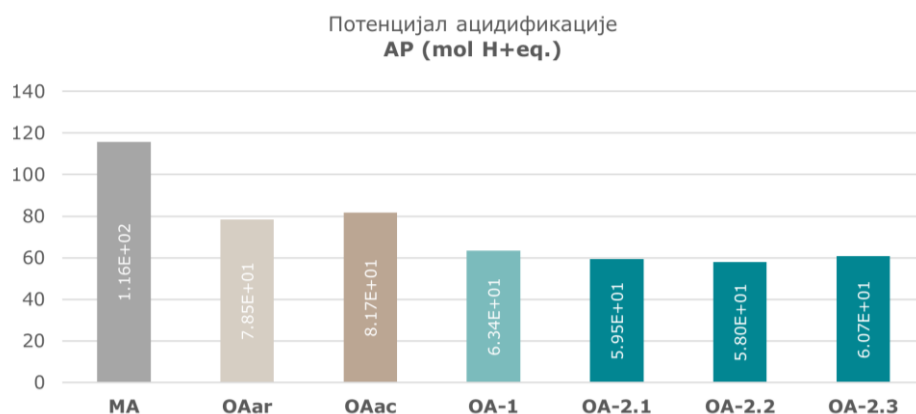
Упоредна анализа резултата прорачуна указује на то да се највећа оптимизација потенцијала глобалног загревања остварује применом стратегија циркуларне економије на нивоу материјала у првом кораку поступка. Најбољи резултат се остварује додатном применом стратегија на нивоу елемената и система. Тиме се највећа оптимизација у односу на основне моделе остварује код оптимизованих модела ОА-2.1 и ОВ-2.3.

За поређење су узети у обзир подаци који се односе на укупне емисије CO₂ током фаза А, Б и Ц животног циклуса. Приказани укупни подаци за фазе од А до Д се не могу сматрати релевантним за поређење оптимизованих модела у односу на основне, већ само за међусобну компарацију. Разлог за то је што анализа резултата указује да су оптимизовани модели мање повољни од основног у фази Д, али је овај резултат последица генерално погрешног приступа приказивања података у EPD декларацијама у грађевинској индустрији.

Потенцијал ацидификације - AP

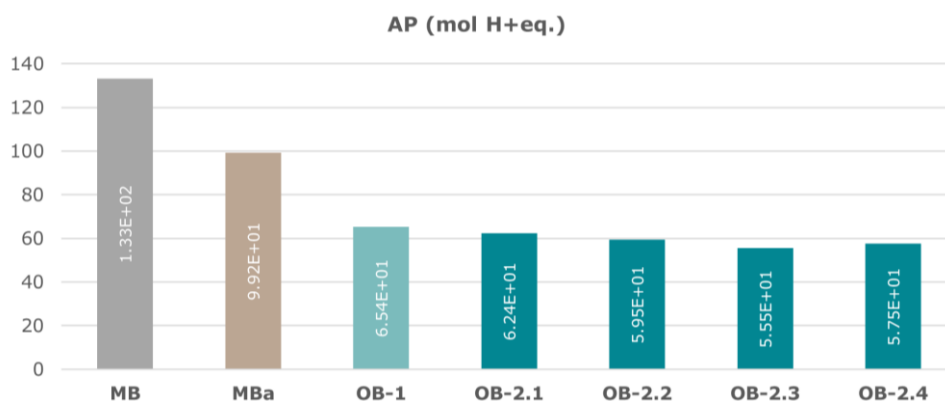
Код свих оптимизованих модела се остварује редукција потенцијала ацидификације у односу на основне моделе. Први корак оптимизације применом стратегија циркуларне економије на нивоу материјала, доноси побољшање овог индикатора за 32,2% у моделу ОАар, док се још бољи резултат остварује у моделима ОАас (45,2%) и ОВа (25,5%) за укупну суму у фазама А, Б и Ц животног циклуса.

Следећи корак оптимизације који подразумева унапређење демонтаже фасадног система код модела А, и животног века компоненти код оба модела, води до још веће оптимизације потенцијала ацидификације, нарочито за фасадни сегмент модела В. Код модела ОА-1 остварује се уштеда од 48,6% у односу на основни модел, односно 50,9% код модела ОВ-1. Анализом резултата се закључује да је за ову разлику, у односу на претходни корак оптимизације, одговоран продужетак животног века алуминијумских профила унутрашњег и спољашњег оквира фасадних поља. Примена стратегија циркуларне економије у трећем кораку оптимизације доводи до мањег побољшања вредности у моделима ОА-2.1, ОА-2.2 и ОА-2.3 (Слика 29).



Слика 29. Компаративни приказ потенцијала ацидификације основног модела В и његових оптимизованих варијанти - укупна сума током А, Б и Ц фазе животног циклуса (Аутор)

Нешто већа разлика примећује се код модела ОВ-2.1 и ОВ-2.2, када се остварује редукција од 53,1% и 55,3% у односу на основни модел МВ. Даља оптимизација која се односи на редукцију транспарентних површина води до смањења вредности за 58,3% код модела ОВ-2.3 и 56,8% у моделу ОВ-2.4 (Слика 30).



Слика 30. Компаративни приказ потенцијала ацидификације основног модела В и његових оптимизованих варијанти - укупна сума током А, Б и Ц фазе животног циклуса (Аутор)

Оптимизација која се односи на редукцију транспарентних површина води до смањења вредности за 58,3% код модела ОВ-2.3 и 56,8% код модела ОВ-2.4 (Слика 30). Код ова два модела додатна оптимизација потенцијала оптимизације је последица редукције уграђене количине стакла и повећања нетранспарентних поља испуне на њен рачун.

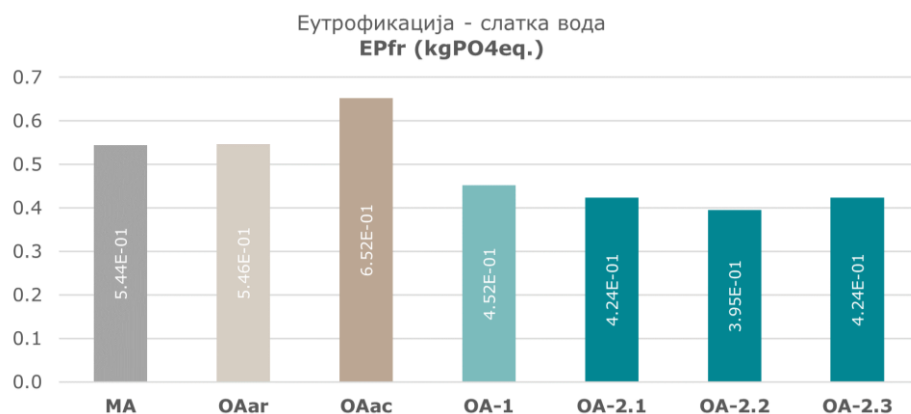
Систематизацијом сазнања из нумеричких прорачуна и кроз упоредну анализу закључује се да се највећа оптимизација потенцијала ацидификације остварује у моделима ОА-2.2 и ОВ-2.3. Код првог модела резултат се остварује редукцијом уграђеног алуминијума у компонентама профила оквира (фазе А и Б), док код другог поред тога допринос има и редукција стакла, што се нарочито одражава на фазу Б животног циклуса.

Изводи се закључак да на оптимизацију потенцијала ацидификације највећи утицај имају стратегије примењене на нивоу материјала и елемената, док се мања оптимизација везује за примену стратегија на нивоу система.

Потенцијал еутрофикације – EPfr

Први корак оптимизације материјала доводи до пораста потенцијала еутрофикације у моделима ОАар (+0,4%) и ОАас (+19,9%). Значајнија разлика примећује се код модела ОВа, чија је вредност индикатора за 96% већа у односу на основни модел МВ. Резултат у овом кораку оптимизације је у највећој мери последица примењених декларација за алуминијумске профиле, у којима су вредности EPfr тачније прорачунате у односу на производе чије су декларације издате пре 2020. године.

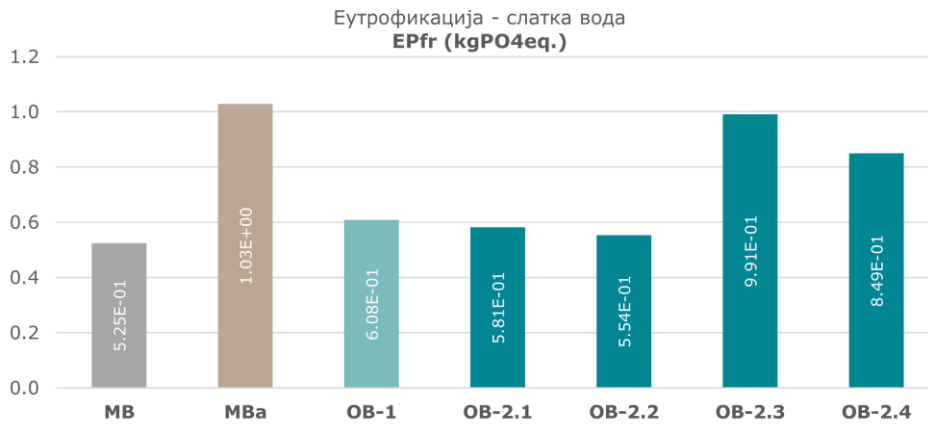
Примена стратегија у другом кораку поступка оптимизације међутим остварује уштеду од 16,9% код ОА-1 у односу на основни модел МА, јер се продужава животног век компоненти које иначе имају најнеповољнији утицај на овај индикатор (Слика 31). Код модела ОВ-1 примена исте стратегије такође доводи до редукције EPfr, али због иницијалног повећања је вредност код овог и даље већа за 15,8% у односу на МВ.



Слика 31. Компаративни приказ потенцијала еутрофикације слатке воде основног модела А и његових оптимизованих варијанти - укупна сума током А, Б и Ц фазе животног циклуса (Аутор)

Примена стратегија на нивоу система доводи до додатне оптимизације индикатора у моделима ОА-2.1, ОА-2.2 и ОА-2.3, јер се смањује количина уграђеног алуминијума у оквиру компоненти оквира. Тиме модели ОА-2.1 и ОА-2.3 остварују редукцију потенцијала EPfr од 22,1%, а модел ОА-2.2 од 27,4% у односу на основни модел МА.

У овом кораку долази и до редукције индикатора у моделима ОВ-2.1 и ОВ-2.2, али су као и код претходно оптимизованих модела резултати потенцијала Ерfr и даље виши него код основног модела МВ. Са овог аспекта је модел ОВ-2.2 повољнији, јер бележи повећање од само 5,5% у односу на основни модел, док је код модела ОВ-2.1 разлика око 10,7% (Слика 32).



Слика 32. Компаративни приказ потенцијала еутрофикације слатке воде основног модела В и његових оптимизованих варијанти - сума током А, Б и Ц фазе животног циклуса (Аутор)

Међутим, примена стратегија циркуларне економије у овом кораку оптимизације има негативан утицај на потенцијал еутрофикације код модела ОВ-2.3, јер он остварује повећање индикатора за 88,8% у односу на основни модел, док је код модела ОВ-2.4 разлика за 61,7% (Слика 32). До овога долази због повећања површине алуминијумских панела и минералне вуне који су са аспекта овог индикатора мање повољни од стакла.

Систематизација сазнања из нумеричких прорачуна потенцијала еутрофикације указује на значај примене савремених декларација за животну средину производа у оквиру фасадног сегмента. Након иницијалног повећања овог индикатора у даљем току поступка оптимизације остварују се бољи резултати, где се издвајају модели ОА-2.2 и ОВ-2.2.

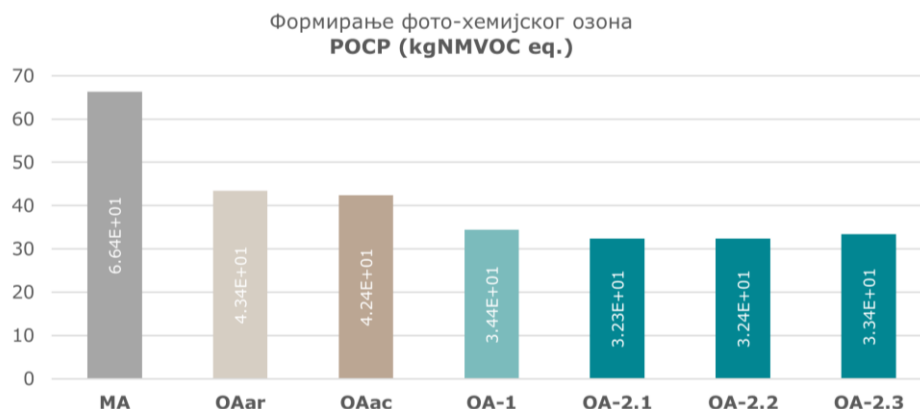
Потенцијал формирања фото-хемијског озона - РОСР

Како су код основних модела највећи утицај на формирање фото-хемијског озона имале компоненте оквира и стаклени панели, сама оптимизација ових материјала доводи до редукције индикатора у свим оптимизованим моделима фасадног сегмента.

Примена стратегија на нивоу материјала доводи до редукције индикатора РОСР за 34,6% код модела ОАаг и 36,1% код модела ОАас у односу на основни модел МА. Сличан резултат се остварује и код модела ОВа смањењем за 34,4 у односу на МВ.

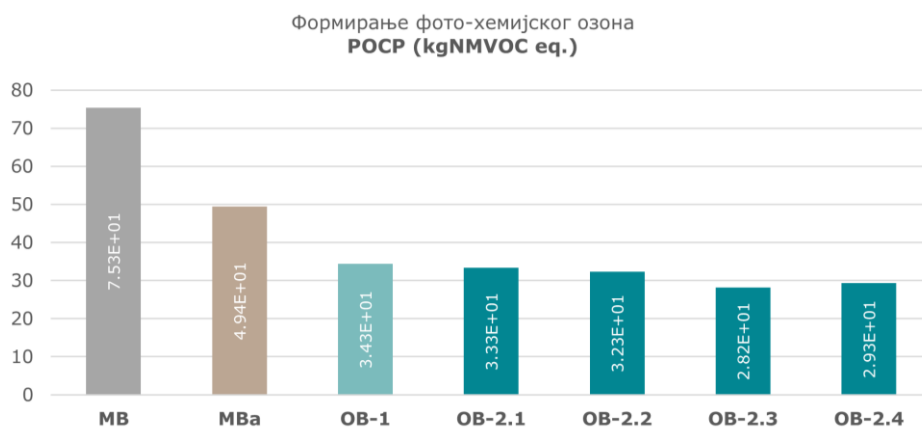
Други корак поступка оптимизације омогућава даље снижавање вредности редукције индикатора РОСР захваљујући снижавању вредности потенцијала формирања фото-хемијског озона, продужетку животног века алуминијумских профила. Тако се код модела ОА-1 остварује оптимизација од -48,2% а код модела ОВ-1 од -54,4% у односу на фасадне сегменте основних модела. Промене у димензијама фасадних поља које воде до

смањења уграђене количине алуминијума додатно снижавају ову вредност у моделима ОА-2.1 (-51,3%), ОА-2.2 (-51,2%), и ОА-2.3 (-49,7%) у односу на МА (Слика 33).



Слика 33. Компаративни приказ потенцијала формирања фото-хемијског озона основног модела А и његових оптимизованих варијанти - фазе животног циклуса А, Б и Ц (Аутор)

У овом кораку оптимизације и примени стратегија на нивоу система долази до додатне оптимизације индикатора и код модела ОВ-2.3 и ОВ-2.4, када се остварује редукција од -54,4% у првом и 57,7% у другом моделу у односу на МВ. Даља оптимизација односа транспарентних и нетранспарентних поља, остварује смањење индикатора РОСР за -62,5% код модела ОВ-2.3 и -61,2% код модела ОВ-2.4 у односу на основни модел (Слика 34).



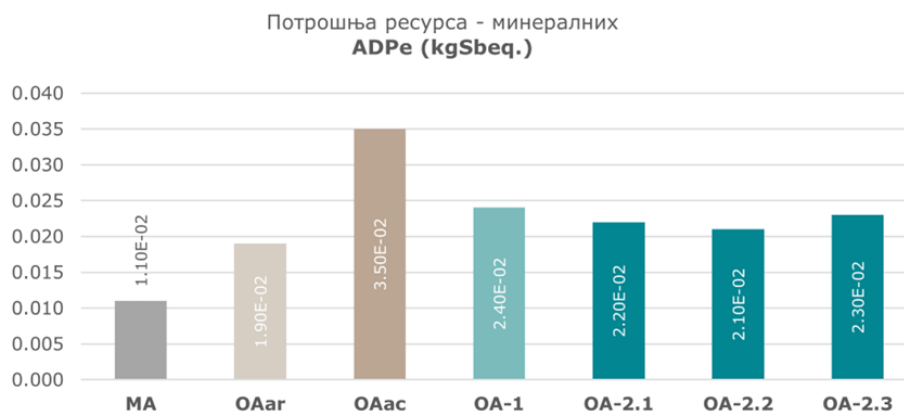
Слика 34. Компаративни приказ потенцијала формирања фото-хемијског озона основног модела В и његових оптимизованих варијанти - укупна сума током А, Б и Ц фазе животног циклуса (Аутор)

Компаративна анализа модела, у односу на нивое примене стратегија циркуларне економије у поступку оптимизације фасадних сегмената, указује да највећи утицај на редукцију индикатора потенцијала формирања фото-хемијског озона има примена адекватних материјала. Додатном оптимизацијом односа количина уграђених материјала и животног века елемената у које се уграђују, могуће је остварити значајно повољније резултате овог индикатора као у моделима ОА-2.1 и ОВ-2.3.

Потрошња минералних ресурса - ADPe

Потрошња минералних ресурса (ADPe) је један од индикатора где примењени поступак оптимизације заправо има негативан утицај када се анализирају резултати нумеричких прорачуна. Међутим, упоредна анализа основних и оптимизованих модела води до претпоставке да повећање потрошње минералних ресурса не потиче од саме промене материјала већ од прецизнијих улазних података инвентара за оптимизоване алуминијумске профиле, с обзиром да се за њих користе новије декларације производа. Стога, резултате компаративне анализе треба сагледавати за међусобно поређење оптимизованих модела.

Други корак поступка оптимизације доводи до редукције потрошње минералних ресурса код модела ОА-1 и ОВ-1, јер се продужава животни век алуминијумских профила кроз омогућавање њихове поновне употребе након 25 година. Код свих модела се већина потрошње минералних ресурса повезује са двоструко изолованим стакленим пакетима транспарентних поља, који су са аспекта овог индикатора слични за основне и оптимизоване моделе. Како количина уграђеног стакла остаје на сличном нивоу код модела ОА-2.1, ОА-2.2 и ОА-2.3 не долази до значајне оптимизације потрошње минералних ресурса (Слика 35).



Слика 35. Компаративни приказ потрошње минералних ресурса основног модела А и његових оптимизованих варијанти - укупна сума током А, Б и Ц фазе животног циклуса (Аутор)

Након значајног повећања потрошње минералних ресурса код модела ОВа, укупна потрошња се смањује у ОВ-1 захваљујући продужетку животног века алуминијумских профила. Даља оптимизација подразумева број ових компоненти у фасадном сегменту, чиме се остварује додатна редукција потрошње ресурса у моделима ОВ-2.1, ОВ-2.2, ОВ-2.3 и ОВ-2.4 (Слика 36). Веће разлике у односу на претходни корак оптимизације се код ових модела примећују и због постојања алуминијумских панела у пољима испуне, што код фасадних сегмената модела А није случај.

Компаративна анализа оптимизованих модела показује да се највећа оптимизација потрошње минералних ресурса остварује код модела ОА-2.2 и ОВ-2.2, захваљујући примени стратегија редукције материјала који са аспекта овог индикатора имају негативан утицај на животну средину.



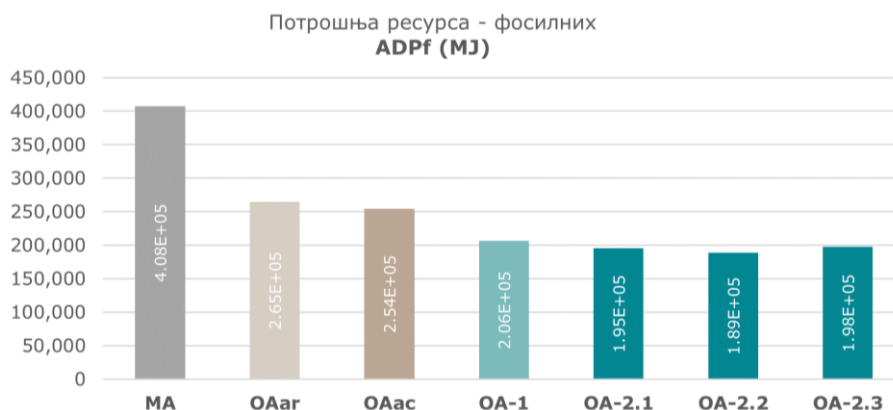
Слика 36. Компаративни приказ потрошње минералних ресурса основног модела В и његових оптимизованих варијанти - сума А, Б и Ц фазе животног циклуса (Аутор)

Потрошња фосилних ресурса – ADPf

За разлику од потрошње минералних ресурса, примена стратегија циркуларне економије доводи до смањења количине потребних фосилних ресурса (ADPf) за фасадне сегменте оптимизованих модела.

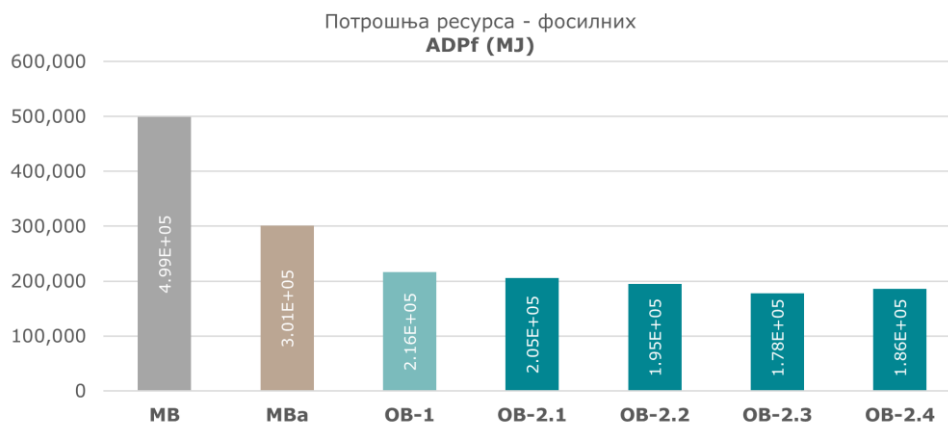
Оптимизација се остварује већ применом стратегија на нивоу материјала, када се код модела ОАар остварује редукација за 35% у односу на модел МА, односно за 37,6% код модела ОАас. Разлике су последица промене инвентара за алуминијумске профиле и двоструко изоловане стаклених панеле у оптимизованим моделима. С обзиром да фасадни систем модела В подразумева веће количине уграђеног алуминијума због постојања спољашњег профила оквира, у моделу ОВа се остварује још већа редукација од 39,7% у односу на основни модел МВ.

Продужетак животног века алуминијумских профила омогућава даљу оптимизацију потрошње фосилних ресурса код модела ОА-1 и ОВ-1, када се код првог количина ресурса смањује за 49,4% у односу на основни модел фасадног сегмента, а код другог за -56,7%. Оптимизација у трећем кораку поступка доводи до даље редукације потрошње фосилних ресурса код ОА-2.1 (-52,1% у односу на МА), ОА-2.2 (-53,7%) и ОА-2.3 (-51,5%), у највећој мери због промене количине алуминијума (Слика 37).



Слика 37. Компаративни приказ потрошње фосилних ресурса основног модела А и његових оптимизованих варијанти - укупна сума током А, Б и Ц фазе животног циклуса (Аутор)

Оптимизација редукције броја компоненти има мањи утицај укупну потрошњу фосилних ресурса модела ОВ-2.1 (-58,8% у односу на МВ), односно -60,9% код модела ОВ-2.2. Оптимизација односа транспарентних и нетранспарентних поља у фасадном сегменту доводи до додатне редукције код модела ОВ-2.3 (-64,4% у односу на МВ) и ОВ-2.4 (-62,7%) (Слика 38).



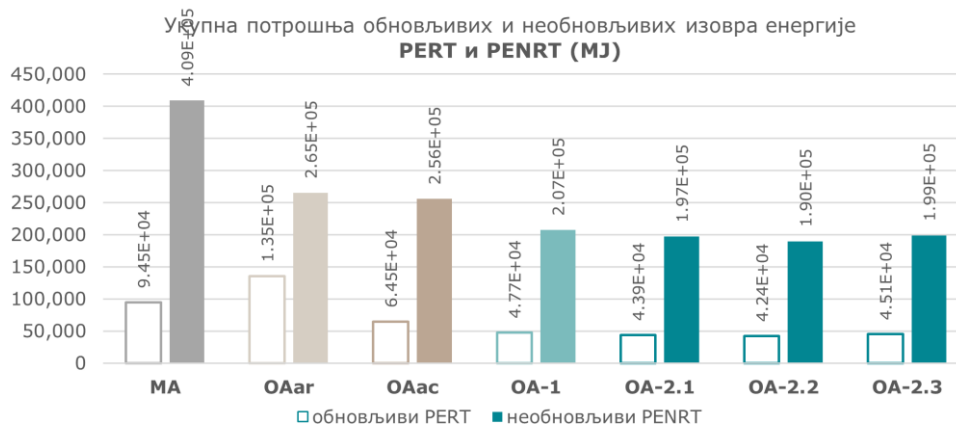
Слика 38. Компаративни приказ потрошње фосилних ресурса основног модела В и његових оптимизованих варијанти (Аутор)

Упоредна анализа је показала да се највећа редукција потрошње фосилних ресурса остварује код модела ОА-2.2 и ОВ-2.3, од којих је у међусобном поређењу оптималнији модел ОВ-2.3.

Укупна потрошња обновљивих и необновљивих извора енергије - PERT и PENRT

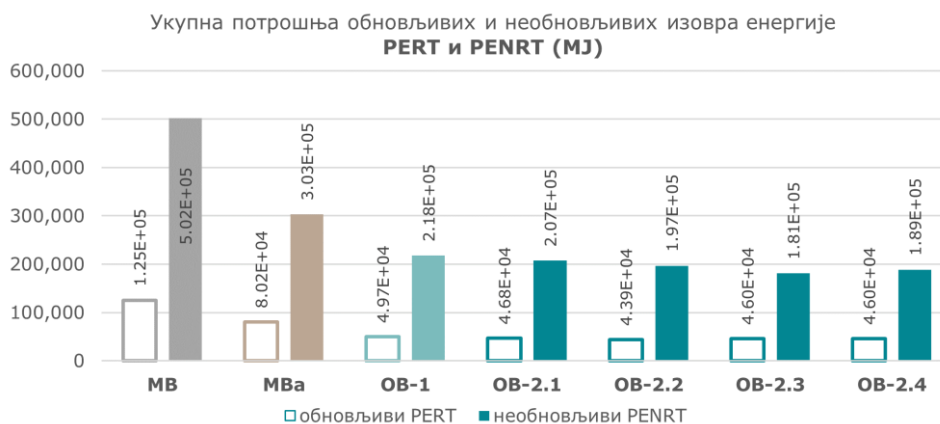
Анализа резултата прорачуна потрошње обновљивих извора енергије указује на значајне разлике у моделима ОАаг (+42,9% у односу на МА) и ОАас (-31,7%) што је зависно од порекла примењеног алуминијума. С обзиром да је оптималнији алуминијум употребљен у свим даље оптимизованим моделима, они остварују додатну редукцију потрошње енергије у односу на основни модел. Други корак оптимизације, када долази до продужетка животног века алуминијумских профила води до додатног побољшања резултата у моделу ОА-1 (-49,5%), док се већа редукцију у односу на основни модел остварује код модела ОА-2.1 за -53,6%, ОА-2.2 за -55,1% и модела ОА-2.3 за -52,3% (Слика 39).

Оптимизација потрошње необновљивих извора енергије се остварује код свих модела. Највећа разлика примећује се већ након првог корака оптимизације када модели остварују око 35% редукције у односу на МА (Слика 39). Продужетак животног века компоненти остварује додатну редукцију код модела ОА-1 за -49,3%, док следећи корак оптимизације има мањи утицај на промене потрошње необновљивих извора енергије (ОА-2.1 -51,9%, ОА-2.2 -53,6% и ОА-2.3 -51,4% у односу на основни модел МА)



Слика 39. Компаративни приказ потрошње обновљивих и необновљивих извора енергије основног модела А и његових оптимизованих варијанти - укупна сума током А, Б и Ц фазе животног циклуса (Аутор)

Код оптимизованих модела В се редуција потрошње обновљивих извора енергије остварује већ код модела ОВа (-36%), у највећој мери због употребе алуминијума за профиле оквира који је произведен употребом сировина које су рециклиране након животног века у другим производима. Следећи корак оптимизације доводи до значајног унапређења, када модел ОВ-1 остварује уштеду за 60,6% у односу на основни модел. Унапређење је остварено и код модела ОВ-2.1 -62,7%, ОВ-2.2 -65%, ОВ-2.3 -63,3% и ОВ-2.4 -63,3% (Слика 40).

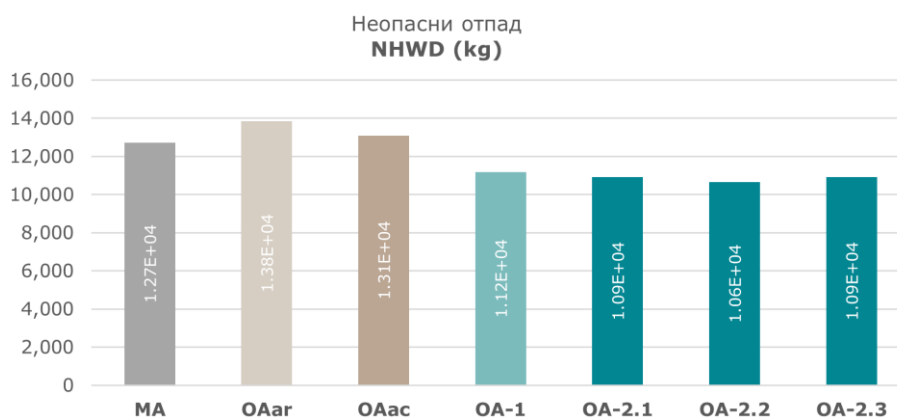


Слика 40. Компаративни приказ потрошње обновљивих и необновљивих извора енергије основног модела В и његових оптимизованих варијанти за А, Б и Ц фазе животног циклуса (Аутор)

Као и код модела А, у моделу В се остварује редуција потрошње необновљивих извора код свих оптимизованих варијанти. Највећи допринос има први корак оптимизације материјала када се остварује редуција за 39,5%, док продужетак животног века компоненти остварује смањење за -68,5% код модела ОВ-1. Повећање димензија фасадних поља не доводи до даље редуције у моделима ОВ-2.1 (-58,7% у односу на основни модел), ОВ-2.2 (-60,8%), док се најбољи резултат остварује код модела ОВ-2.3 (-63,9%) и ОВ-2.4 (-62,4%), јер се смањује уграђена количина стакла (Слика 40).

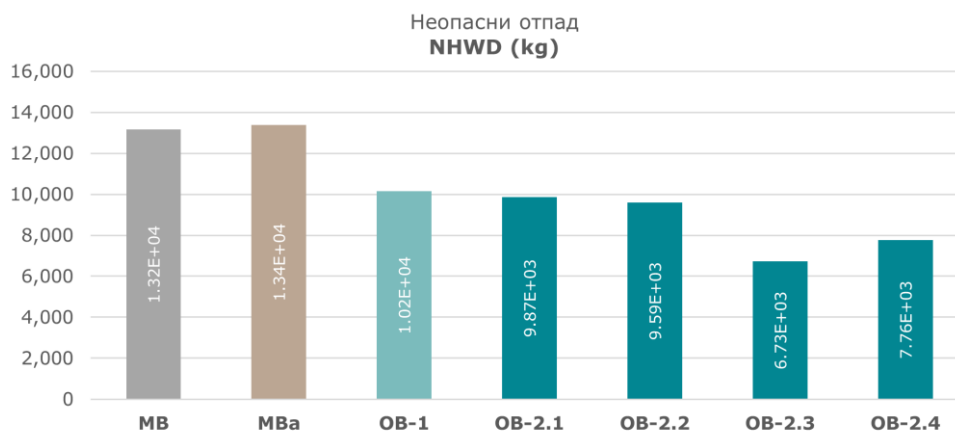
Одлагање неопасног отпада – NHWD

Први корак оптимизације доводи до пораста количине неопасног отпада у фази производње, које заправо потиче од основних прорачуна декларација за животну средину алуминијумских профила. Даљи кораци оптимизације који подразумевају продужетак животног века компоненте ипак доводе до редукције количине одложеног неопасног отпада, када се код модела ОА-1, ОА-2.1, ОА-2.2 и ОА-2.3 остварује уштеда од 10% до 16% у односу на основни модел МА (Слика 41).



Слика 41. Компаративни приказ количине произведеног неопасног отпада основног модела А и његових оптимизованих варијанти током А, Б и Ц фазе животног циклуса (Аутор)

Код оптимизованих модела В се примећује већа редукција у односу на основни модел за 23% до 27% у моделима ОВ-1, ОВ-2.1 и ОВ-2. У моделима ОВ-2.3 и ОВ-2.4 остварена је додатна редукција отпада за преко 40% у односу на основни модел МВ (Слика 42).

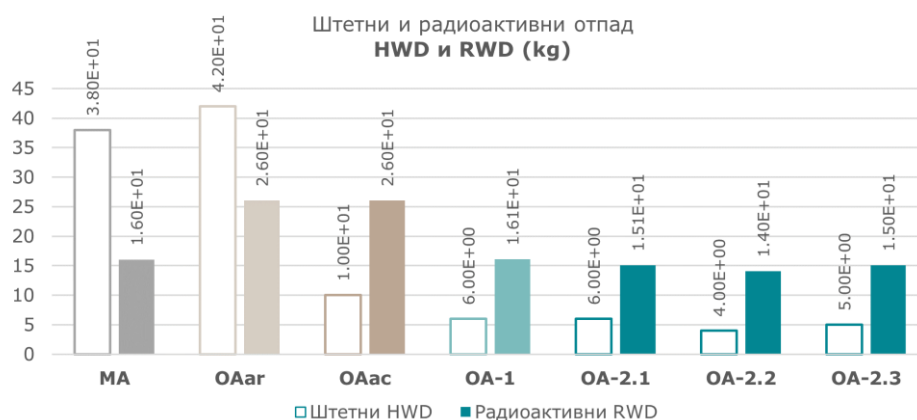


Слика 42. Компаративни приказ количине произведеног неопасног отпада основног модела В и његових оптимизованих варијанти - укупна сума током А, Б и Ц фазе животног циклуса (Аутор)

Одлагање штетног и радиоактивног отпада – HWD и RWD

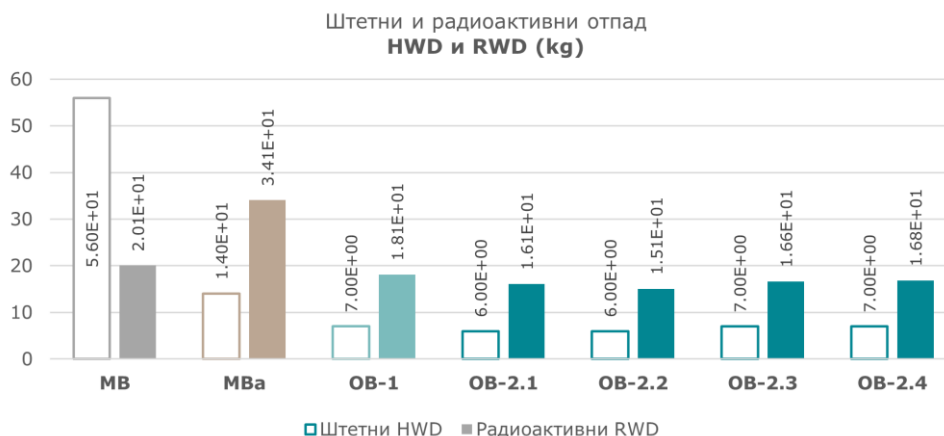
Како највећа количина штетног отпада потиче из производне фазе алуминијума, укупна редуција у свим оптимизованим моделима ОА и ОВ остварена је избором алуминијумских профила *Hydro Circal*. Кроз анализу овог индикатора очигледно је колико је значајна употреба сировина које су у производњу враћене након испуњеног животног циклуса у другим објектима. Овим је у великој мери смањено генерисање отпада током производне фазе алуминијумских профила, која је у основним моделима била 4 пута већа него у свим оптимизованим моделима.

Самом оптимизацијом материјала остварена је значајна уштеда количине штетног отпада у моделима ОАас и ОВа за око 75% у односу на основне моделе (Слике 43 и 44).



Слика 43. Компаративни приказ количине произведеног штетног и радиоактивног отпада основног модела А и његових оптимизованих варијанти - укупна сума током А, Б и Ц фазе животног циклуса (Аутор)

Количина штетног отпада је додатно редукована продужетком животног века алуминијума у моделима ОА-1 за 84,2% у односу на МА, а код модела ОВ-1 за 87,5% у односу на МВ. Следећи корак оптимизације доводи до мање промене у резултатима, али се највећа редуција остварује код модела ОА-2.2 и ОВ-2.2 за око 89% у односу на основне моделе (Слике 43 и 44).



Слика 44. Компаративни приказ количине произведеног штетног и радиоактивног отпада основног модела В и његових оптимизованих варијанти за А, Б и Ц фазе животног циклуса (Аутор)

Оптимизовани модели се повезују са већом количином радиоактивног отпада у односу на основне. С обзиром да се у оптимизованим моделима користе потпуно рециклирани материјали, податак о већој количини отпада је последица прецизнијег прорачуна у оквиру примењених декларација за алуминијумске профиле. С тога се резултати прорачуна не пореде у односу на основни модел, већ за компарацију оптимизованих модела. Она указује да се најмања количина радиоактивног отпада одлаже код модела ОА-2.2 и ОВ-2.2, што је последица смањене количине уграђеног алуминијума (Слике 43 и 44).

6.2 ПРОЦЕНА ЕМИСИЈА CO₂ ФАСАДНОГ ОМОТАЧА У ОДНОСУ НА ПОТРОШЊУ ЕНЕРГИЈЕ ВИСОКОГ ОБЈЕКТА У ЗАВИСНОСТИ ОД ОПТИМИЗАЦИЈЕ ЦИРКУЛАРНОГ ПОТЕНЦИЈАЛА ФАСАДНОГ ОМОТАЧА

Представљени поступак оптимизације фасадних сегмената основних модела је подразумевао примену стратегија циркуларне економије у односу на ниво материјала, компоненти и система. Међутим, како би се проверио утицај примене ових стратегија на ниво целог објекта врше се додатни нумерички прорачуни који се односе на цео фасадни омотач високог објекта.

Једина мерна јединица која се може користити у поређењу утицаја животног циклуса фасадног омотача и потрошње енергије у хипотетичком објекту у зависности од његове промене, је емисија угљен-диоксида. Упоредна анализа се врши за претходно дефинисан хипотетички објекат и фасадни омотач за 30 етажа (Поглавље 5).

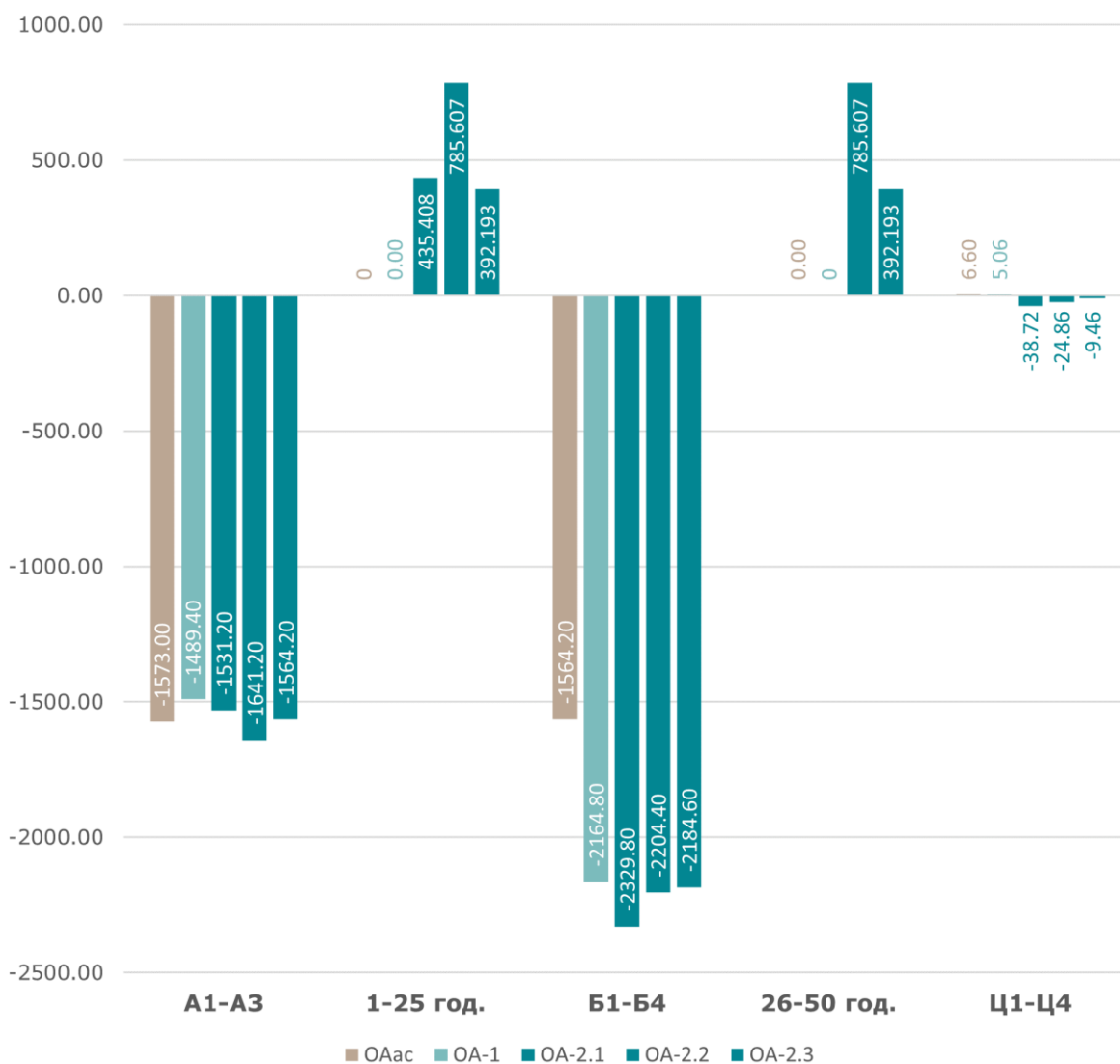
Процена емисије CO₂ која се односи на фазе производње, употребе и краја животног циклуса фасаде током испитиваног периода од 50 година, се заснива на претходним фасадним сегментима. Наиме, у једном фасадном омотачу хипотетичког објекта се налази 220 фасадних сегмената. Процена емисије угљен-диоксида се заснива на резултатима претходно објашњених прорачуна потенцијала глобалног загревања појединачних сегмената. Тиме је међусобни однос емисија CO₂ фасадног сегмента основних и оптимизованих модела, еквивалентан процени на нивоу целог фасадног омотача, али су суме резултата значајно веће.

Претходно приказани резултати утицаја оптимизације на промене потрошње оперативне енергије хипотетичког објекта се могу упоредити са емисијама угљен диоксида фасадног омотача, на основу чега се сагледава њихов однос током целокупног животног циклуса фасаде. Резултати прорачуна се анализирају у односу на фазе животног циклуса током 50 година употребног века фасадног омотача.

Упоредна анализа емисија CO₂ по фазама животног циклуса се приказује у односу на остварену оптимизацију у односу на основне моделе. На дијаграмима се основни модел приказује као неутрална вредност, како би се проценило смањење или повећање емисије CO₂ које се дешава као последица оптимизације фасадног омотача применом стратегија циркуларне економије.

Анализом резултата прорачуна емисија CO₂ које су повезане са фасадним омотачем високог објекта, утврђује се да оптимизација циркуларног потенцијала нема увек позитиван утицај на емисију угљен диоксида.

Први корак оптимизације који је подразумевао примену стратегија на нивоу материјала остварио је значајну уштеду емисија CO₂ у односу на основни модел у фазама А и Б, док истовремено није утицао на промену потрошње енергије објекта. Слични резултат се примећује код модела ОА-1. Оба модела бележе минималну промену у фази Ц животног циклуса у односу на основни модел. Међутим, даља оптимизација која подразумева већу редукацију емисија CO₂ у моделима ОА-2.1, ОА-2.2 и ОА-2.3 у фазама А И Б, доводи до значајног повећања потрошње енергије током употребне фазе од 50 година (Слика 45).

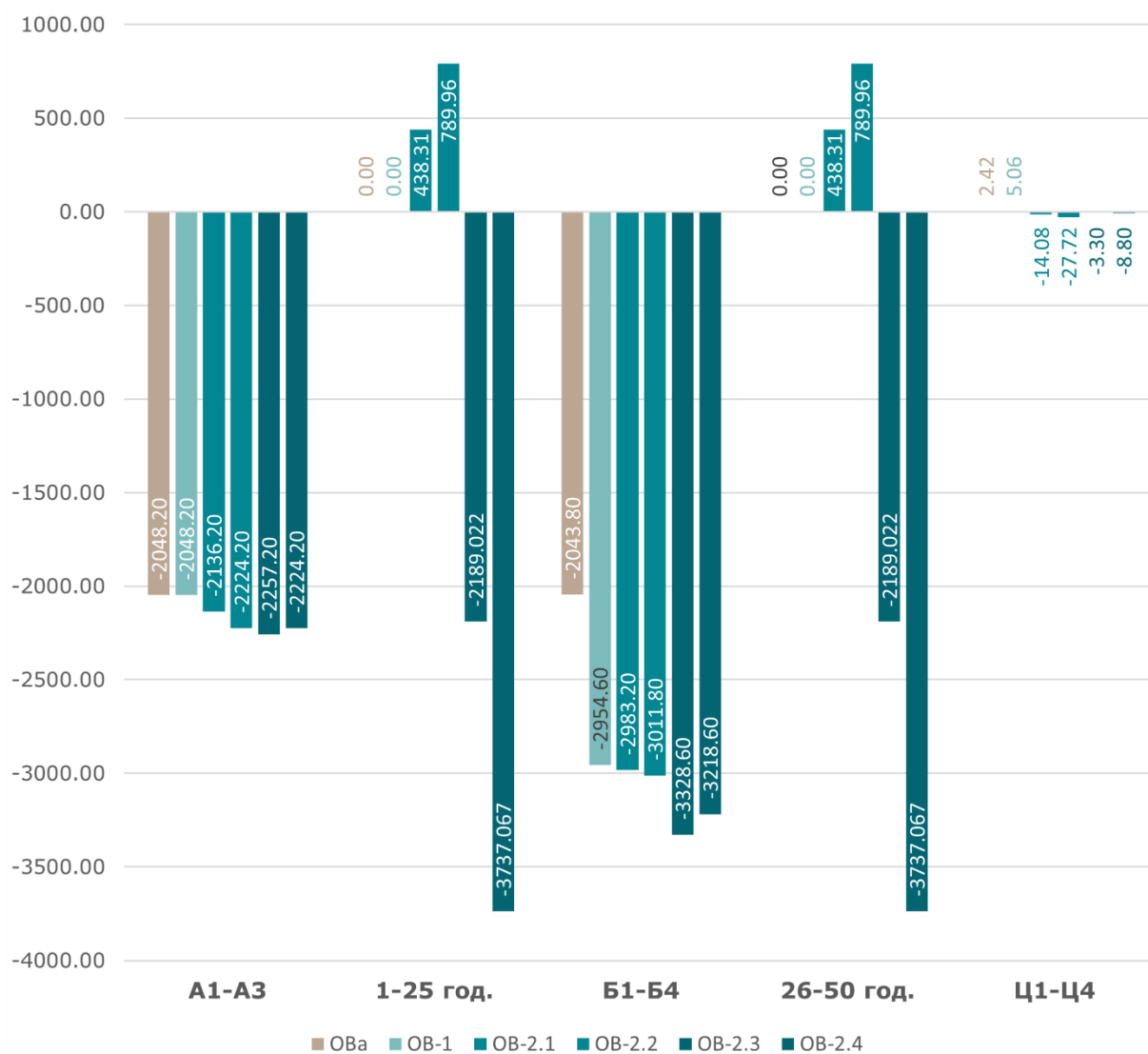


Слика 45. Емисија угљен-диоксида (изражена у tCO₂) оптимизованих модела ОА у односу на основни модел МА, током појединачних фаза животног циклуса хипотетичког високог објекта (Аутор)

Тако модел који остварује највећу уштеду CO₂ током фазе производње животног циклуса, истовремено остварује и највећи пораст емисије CO₂ за потрошњу енергије током употребе објекта OA-2.2.

Код оптимизованих модела В се примећују слични односи промена емисије CO₂ у односу на основни модел када се посматрају оптимизовани модели OВa и OВ-1. Оба модела доприносе смањењу емисија CO₂ у фазама А и Б животног циклуса фасадног омотача, а немају утицај на промену емисија које се везују за потрошњу енергије у објекту. Код модела OВ-2.1 и OВ-2.2 се примећује да даља оптимизација у фази производње и употребе фасадног омотача има негативан утицај на потрошњу енергије у објекту.

Међутим код модела OВ-2.3 и OВ-2.4 се остварује истовремена оптимизација емисија CO₂ у свим фазама животног циклуса уз додатно остваривање уштеде потрошње енергије током 50 година употребе објекта. Резултати су остварени захваљујући редукцији транспарентних поља у фасадним омотачима ових модела (Слика 46).

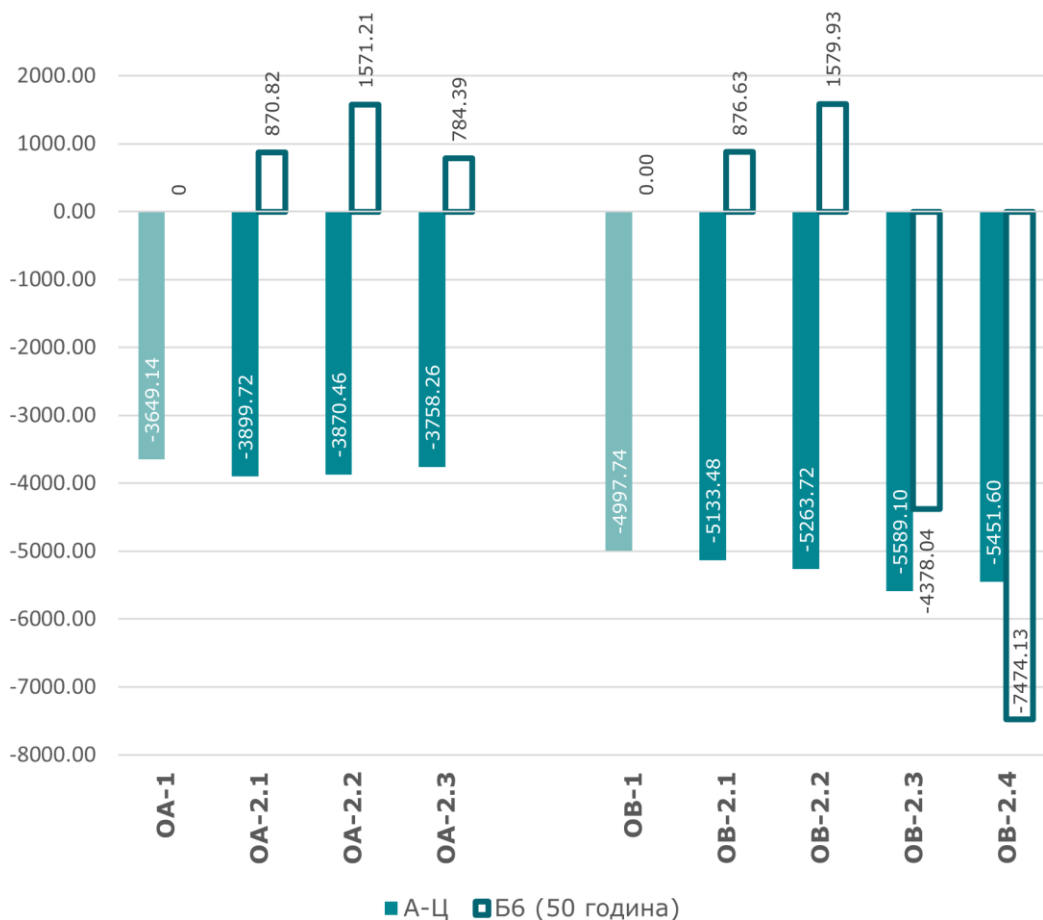


Слика 46. Емисија угљен-диоксида оптимизованих модела OВ у односу на основни модел MВ, изражена у tCO₂ кроз фазе животног циклуса хипотетичког високог објекта (Аутор)

Систематизацијом резултата из компаративне анализе може се закључити да је примењен поступак оптимизације фасада имао различити утицај на укупне емисије CO₂.

У моделима на које су примењене стратегије током првог и другог корака оптимизације је остварена уштеда емисија CO₂ које се везују за животни циклус фасадног омотача, док није било утицаја на потрошњу енергије хипотетичког објекта.

Оптимизација применом стратегија на нивоу система је међутим имала негативан утицај на потрошњу енергије током животног века од 50 година, али је остварила већу редукацију емисија угљен диоксида која се везују за животни циклус самог омотача. Тиме су модели ОА-1 и ОВ-1 оптималнији са становишта укупне емисије CO₂ од даље оптимизованих модела ОА-2.1, ОА-2.2, ОА-2.3, ОВ-2.1 и ОВ-2.2 (Слика 47).



Слика 47. Упоредни приказ укупног повећања или редукације емисије CO₂ оптимизованих модела у односу на основне, у зависности од прорачуна потрошње енергије током фаза А, Б и Ц и модула Б6 (Аутор)

Међутим примена свих стратегија у циљу оптимизације циркуларног потенцијала фасадног омотача је довела до значајне укупне редукације емисија CO₂ у моделима ОВ-2.3 и ОВ-2.4 (Слика 47). На основу тога се закључује да је могуће остварити редукацију укупне емисије угљен-диоксида код модела који је уједно и најповољнији са аспекта циркуларног потенцијала.

6.3 АНАЛИЗА УТИЦАЈА ПРИМЕЊЕНИХ ПРИНЦИПА И СТРАТЕГИЈА ЦИРКУЛАРНЕ ЕКОНОМИЈЕ НА ОПТИМИЗАЦИЈУ ФАСАДНОГ ОМОТАЧА

Систематизацијом сазнања из упоредне анализе и дискусије резултата изводе се закључци о утицајима примене стратегија на оптимизацију фасадног омотача у односу на измерене индикаторе.




Примена стратегија у првом кораку оптимизације који се односи на ниво материјала има највећи утицај на индикатор циркуларног потенцијала у фази производње, али се укупно најбољи резултат остварује тек у другом кораку оптимизације када се примењују стратегије омогућавања демонтаже и усклађивања животног века компоненти фасадног сегмента. Тада се бележи најоптималнија вредност индикатора циркуларног потенцијала за фазу употребе и рушења, као и највиша вредност индекса демонтаже. Тиме се код модела ОА-1 остварује највећа оптимизација фасадног сегмента са аспекта процене циркуларног потенцијала. Остварена оптимизација има минималан утицај на промене изгледа фасадног омотача (Слика 48).

За разлику од овог модела, највећа оптимизација остварена је код модела ОВ-2.2 и ОВ-2.3, применом стратегија на нивоу система. Оптимизовани модел остварује поменути оптимизацију уз минималне промене у изгледу фасадног омотача. Ипак, највећу оптимизацију остварује модел ОВ-2.3, али он подразумева потпуну промену изгледа фасадног омотача у односу на основни модел, због редукције транспарентних поља у фасадном сегменту. Овај модел има више могућности комбинација и односа транспарентних и нетранспарентних поља, због чега се процењује да има потенцијал даље оптимизације са становишта циркуларног потенцијала (Слика 48).

У односу на процену утицаја оптимизованих модела фасадних омотача на животну средину закључује се да се за највећи број индикатора значајна оптимизација остварује у трећем кораку поступка. То је последица тога што овај корак укључује и претходна два, односно укупно гледано примену стратегија циркуларне економије на нивоу материјала, елемената, компоненти и целог фасадног система.

Код оптимизованог модела ОА-2.2 се остварује најоптималнији резултат утицаја на животну средину за потенцијал ацидификације, еутрофикације, формирање фото-хемијског озона, потрошњу фосилних ресурса, потрошњу обновљивих и необновљивих извора енергије и произведену количину штетног и радиоактивног отпада (Слика 49). Међутим овај модел није најповољнији са становишта укупне емисије угљен диоксида која се везује за животни циклус фасадног омотача. Такође има најнегативнији утицај на потрошњу енергије хипотетичког високог објекта. То указује на значај провере различитих индикатора за процену оптимизације фасаде са становишта циркуларне економије, јер не постоји модел који је најповољнији са свих аспеката.


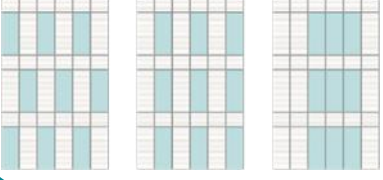
Систематизацијом сазнања из нумеричких прорачуна индикатора за оптимизоване моделе В, утврђује се да је модел ОВ-2.3 најповољнији са аспекта потенцијала глобалног загревања, ацидификације и формирање фото-хемијског озона, потрошње минералних и фосилних ресурса, као и произведене количине неопасног отпада на крају животног циклуса (Слика 49).

Поступак	Модел	Индикатор циркуларног потенцијала по фазама животног циклуса			
		Индекс демонтаже	фаза рушења	фаза употребе	фаза производње
	МА	15	12	125	5
	МВ	52	22	125	10
Корак 1  материјали	ОАас	15	14	126	55
	ОВа	52	24	126	58
Оптимизација остварена без промене изгледа фасаде					
Корак 2  елементи компоненте	ОА-1	34	16	149	56
	ОВ-1	52	23	161	58
Оптимизација има минималан утицај на промену изгледа фасаде					
Корак 3  систем	ОА-2.1	34	15	147	55
	ОА-2.2	34	13	146	54
	ОА-2.3	33	15	147	55
	ОВ-2.1	52	23	159	58
Оптимизација има већи утицај на промену изгледа фасаде					
	ОВ-2.2	52	22	157	57
	ОВ-2.3	35	41	190	60
Оптимизација у потпуности мења изглед фасадног омотача					
	ОВ-2.4	35	34	178	59

Слика 48. Преглед утицаја стратегија циркуларне економије оптимизацију циркуларног потенцијала фасадних сегмената у односу на ниво примене (Аутор)

Модели

Индикатори утицаја на животну средину

	GWP	AP	EPfr	POCP	ADPe	ADPf	PERT	PENRT	HWD	NHWD	RWD
Корак 1											
ОАас	-47%	-45%	20%	-36%	218%	-38%	-32%	-38%	-74%	3%	62,7%
ОВа	-51%	-26%	96%	-34%	377%	-40%	-36%	-40%	-75%	2%	69,6%
Корак 2											
ОА-1	-55%	-49%	-17%	-48%	291%	-49%	-50%	-49%	-84%	-12%	0,3%
ОВ-1	-62%	-11%	16%	-54%	177%	-57%	-60%	-69%	-88%	-23%	-10%
Корак 3											
ОА-2.1	-59%	-49%	-22%	-51%	118%	-52%	-54%	-52%	-84%	-25%	-6%
ОА-2.2	-58%	-50%	-27%	-51%	100%	-54%	-55%	-54%	-90%	-16%	-12%
 <p>Оптимизација у потпуности мења изглед фасадног омотача</p>											
ОА-2.3	-56%	-48%	-22%	-50%	91%	-51%	-52%	-51%	-87%	-14%	-6%
ОВ-2.1	-64%	-53%	10,7%	-56%	166%	-59%	-63%	-59%	-89%	-25%	-20%
ОВ-2.2	-66%	-55%	6%	-57%	144%	-61%	-65%	-61%	-89%	-27%	-25%
ОВ-2.3	-70%	-58%	89%	-63%	144%	-65%	-63%	-64%	-88%	-49%	-17%
 <p>Оптимизација у потпуности мења изглед фасадног омотача</p>											
ОВ-2.4	-68%	-57%	62%	-61%	155%	-63%	-63%	-62%	-87%	-41%	-16%

Слика 49. Преглед утицаја стратегија циркуларне економије оптимизацију утицаја фасадних сегмената на животну средину у односу на ниво примене (Аутор)

7. ЗАКЉУЧАК

7.1 ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА

У циљу смањења негативних утицаја на животну средину, током претходних година се истражује могућност примене концепта циркуларне економије у грађевинској индустрији. Циљ циркуларне економије је заштита ресурса, односно животне средине кроз смањење експлоатације сировина и емисије штетних гасова. Она настоји да превазиђе ограничење тренутно актуелног модела линеарног економије који подразумева неограничену експлоатацију природних ресурса који на крају животног века најчешће постају отпад. Концепт циркуларне економије тежи омогућавању кружења ресурса кроз враћање једном искоришћених производа у процес производње.

Истраживање концепта циркуларне економије у оквиру регулатива различитих држава указује на то да циркуларна економија постаје нови стандард у грађевинској и другим индустријама. Анализом литературе и савремене праксе се закључује да је примена циркуларне економије у грађевинској индустрији тек на почетку истраживања, а самим тим далеко од конкретне примене у пракси. Неколико Европских земаља, попут Холандије, Уједињеног Краљевства, Немачке и Француске већ сада најављују промене стандарда за изградњу нових објеката које су базиране не циљевима дефинисаним у регулативима о постизању климатске неутралности, а подразумевају обавезне прорачуне емисије угљен-диоксида као и детаљне податке о свим уграђеним материјалима и могућностима њиховог поновног коришћења на крају животног века објекта. Овакве промене стандарда грађења објеката се у будућности очекују и у Србији због чега је циљ овог истраживања био сагледавање примене принципа и стратегија циркуларне економије у архитектонском планирању.

У идеалном случају би примена циркуларне економије подразумевала одрживо коришћење ресурса и смањење негативних утицаја на животну средину кроз употребу мање материјала, продужетак животног века производа и развијање потенцијала за њихову поновну употребу на крају животног века. Заправо она тежи да обједини три аспекта:

- производњу употребом поново употребљених или рециклираних материјала,
- продужавање временског периода коришћења производа,
- избегавање да производ на крају животног века постане отпад већ сировина за поновну употребу.

У тренутној пракси је истовремено оптимизовање сва три аспекта ограничено, али је помак у било ком од њих значајан како би се избегао линеарни ток економије. Иако истраживања указују на неопходност брзе транзиције ка циркуларној економији, она је још увек далеко од широке примене, јер захтева координацију садашњих и будућих потреба уз истовремено развијање нових технолошких решења и пословних модела.

Одабиром материјала приликом процеса пројектовања архитекти директно утичу на потрошњу природних ресурса и енергије која је потребна за производњу грађевинских

производа уграђених у објекат. Иако је примарни фокус на одабиру материјала са визуелног и функционалног становишта, данас је неопходно да архитекта поред физичких карактеристика материјала познаје и еколошке, како би могао да својим избором у што већој мери смањи негативне утицаје на животну средину. У складу са савременим тежњама одрживог развоја неопходно је да архитекта буде упознат са тим колико је сировина и енергије потребно за производњу грађевинских производа, колико се штетних гасова емитује током њихове производње и транспорта, који је њихов очекивани животни век и да ли постоје могућности њихове поновне употребе на крају животног циклуса у објекту.

До сада су се архитекти приликом пројектовања највише фокусирали на употребну фазу објекта настојећи да применом различитих система редукују употребу оперативне енергије. Међутим, концепт циркуларне економије показује да одлуке које архитекти доносе у фази планирања имају велики утицај количину енергије потребну за производну фазу и фазу рушења објеката. Одабир материјала и система који се уграђују у објекат зависи од архитеката чиме они имају директан утицај на развој сценарија на крају животног циклуса објеката. Као струка морамо бити свесни да је сваки објекат примењеног концепта током процеса планирања у великој мери зависи колики негативан утицај ће појединачни објекти имати на животну средину.

Једна од типологија која има највеће негативне утицаје на животну средину су високи објекти, за које се везује примена сложених технологија које подразумевају потрошњу велике количине енергије и природних ресурса. Анализа тренда изградње високих објеката у Европи је указала на константо повећање изграђених објеката, што је примећено и у Београду током претходне деценије. У домаћој литератури нема истраживања која се баве типологијом високих објеката и њихових негативних утицаја на животну средину, као и потрошњу енергије током њиховог целокупног животног циклуса. То је представљало мотивацију за одабир ове типологије за испитивање оптимизације применом принципа циркуларне економије, у циљу смањења њених негативних утицаја на животну средину.

Анализа потрошње енергије у високим објектима је указала да је фасадни омотач систем који највише утиче на енергетске перформансе високог објекта. У складу са развојем концепта одрживости он је током последњих година значајно унапређен, али то подразумева употребу већих количина материјала и комплекснијих фасадних система. Наведено није у складу са концептом циркуларне економије, због чега се у докторској дисертацији истражује могућност оптимизације фасадних омотача високих објеката применом принципа и стратегија овог концепта. Формиран је јединствен методолошки поступак који свеобухватно сагледава процес оптимизације и утицај примене принципа и стратегија циркуларне економије на њу.

У циљу утврђивања могућности оптимизације фасадног омотача са становишта циркуларне економије су прво истражене карактеристике фасадних система који се тренутно примењују у архитектонској пракси. Анализом објеката у Европи и Србији, установљено је да су два најчешћа концепта фасада високих објеката потпуно застакљене фасаде или фасаде које подразумевају комбинацију транспарентних поља са пољима испуне од непрозирних материјала. На основу тога су формиран основни модели фасадних сегмената као основ за поступак оптимизације.

Затим су детаљно истражене карактеристике одабраних фасадних система основних модела чиме је установљено од којих компоненти и материјала се састоје, њихове међусобне везе и очекиван животни век. Уследило је истраживање могућности оптимизације свих компоненти са становишта циркуларне економије. У односу на резултате истраживања препознати су потенцијали оптимизације предметних фасада и дефинисане су стратегије које ће бити примењене у циљу оптимизације. Дефинисане су следеће стратегије за које је установљено да имају највећи потенцијал на оптимизацију фасадног омотача у односу на ниво на ком се примењују:

Ниво материјала:

- Одабир материјала произведених рециклажом сировина након претходне употребе у другим производима;
- Одабир материјала произведених употребом сировина рециклираних током фабричких процеса производње;
- Одабир материјала на основу процене утицаја на животну средину;
- Одабир материјала на основу могућности рециклаже на крају животног циклуса
- Редукција количине одложеног отпада.

Ниво елемената и компоненти:

- Усклађивање животног века уграђених материјала;
- Продужетак животног века елемената чији је могући период коришћења дужи у односу на остале у фасадном сегменту;
- Омогућавање одвајања елемената који се могу поново искористити или рециклирати.

Ниво система:

- Префабрикација;
- Стандардизација димензија фасадних поља;
- Редукција укупног броја компоненти и количине уграђеног материјала;
- Редукција компоненти које се не могу оптимизовати са становишта циркуларне економије.

На основу нивоа примене приказаних стратегија дефинисана су три корака поступка оптимизације, која су у зависности од примењених стратегија довела до формирања оптимизованих модела.

У циљу процене утицаја примене принципа и стратегија на оптимизацију фасада дефинисани су индикатори и нумерички прорачуни на основу којих ће се вршити упоредна анализа резултата. Систематизацијом сазнања о индикаторима који се користе за процену примене концепта циркуларне економије у зградама, одабрани су они који највише одговарају предмету истраживања. Утицај примењених стратегија је анализиран на основу резултата индикатора циркуларног потенцијала појединачних компоненти; индикатора циркуларног потенцијала за фазе производње, употребе и рушења објекта; индекса демонтаже и процене утицаја на животну средину за 11 индикатора који се односе на потрошњу природних и фосилних ресурса, загађење воде, земљишта и ваздуха, стварање отпада, потрошњу обновљивих и необновљивих извора енергије. Утицај оптимизације фасадних сегмената са становишта циркуларне економије, је затим проверен на нивоу фасадног омотача хипотетичког високог објекта у Београду. Циљ овог

дела истраживања је била провера утицаја поступка оптимизације на укупну потрошњу енергије у објекту током предвиђеног животног века од 50 година. Анализирана је емисија угљен диоксида која се емитије у фазама производње, употребе и краја животног циклуса фасадног омотача. Резултат је поређен са променама у потрошњи оперативне енергије током употребне фазе објекта, која је такође изражена кроз емисију угљен диоксида.

На основу упоредне анализе свих индикатора изведени су закључци о утицајима остварене оптимизације фасадних омотача и одлука донесених током архитектонског пројектовања фасадног омотача на његов укупни циркуларни потенцијал, а самим тим и на целокупан животни циклус високог објекта.

Резултати прорачуна су указали да су највећи допринос у оствареној оптимизацији фасадних омотача имале стратегије које су примењене у оптимизованим моделима:

- Употреба материјала са већом количином уграђених секундарних сировина;
- Употреба материјала са мањим негативним утицајима на животну средину;
- Унапређење система демонтаже компоненти чиме је омогућена директна поновна употреба компоненти дужег животног века;
- Усклађивање животног века компоненти и примена оптимизованог сценарија замене компоненти краћег животног века;
- Редукција укупног броја компоненти;
- Редукција компоненти које се не могу оптимизовати са становишта циркуларне економије.

Резултати прорачуна су указали да ниједан од оптимизованих модела није најповољнији са аспекта свих прорачунатих индикатора. Ипак за оба испитивана модела фасада се могу издвојити оптимизоване варијанте у односу на укупан највећи допринос.

У односу на основни модел МА највећа оптимизација је остварена код следећих оптимизованих модела у зависности од индикатора прорачуна:

- са аспекта индикатора циркуларног потенцијала највећа оптимизација се остварује код оптимизованог модела ОА-1 која има минималан утицај на промене изгледа фасадног омотача. Овај модел је уједно и најповољнији са аспекта укупне емисије угљен диоксида током животног циклуса објекта.
- Са аспекта утицаја на животну средину најбољи резултат се остварује код модела ОА-2.2 у односу на потенцијал ацидификације, потенцијал еутрофикације, потенцијал формирања фото-хемијског озона, потрошњу фосилних ресурса, потрошњу обновљивих и необновљивих извора енергије и произведену количину штетног и радиоактивног отпада. Међутим овај модел је најмање повољан са аспекта укупне емисије угљен диоксида током животног циклуса објекта. Такође, он подразумева промену изгледа фасадног омотача.

У односу на основни модел МВ највећа оптимизација је остварена код оптимизованог модела ОВ-2.3 који је најповољнији са аспекта индикатора циркуларног потенцијала и утицаја на животну средину. Он остварује највећу оптимизацију потенцијала глобалног загревања, потенцијал ацидификације и формирање фото-

хемијског озона, потрошње минералних и фосилних ресурса и произведене количине неопасног отпада на крају животног циклуса. Овај модел је уједно и најповољнији са аспекта укупне емисије угљен-диоксида јер поред остварене оптимизације самог фасадног омотача има изузетно повољан утицај на редукацију потрошње енергије у хипотетичком објекту. Међутим, овај модел подразумева потпуну промену изгледа фасадног омотача у односу на основни модел.

На основу спроведеног истраживања потврђују се претпостављене хипотезе:

Хипотеза 1: Могуће је формирати методолошки поступак у ком се на основу примене стратегија циркуларне економије у процесу планирања, остварује оптимизација фасадног омотача током његовог целокупног животног циклуса.

Потврђивање ове хипотезе уједно представља и највећи допринос представљеног истраживања који се огледа у формирању јединственог методолошког поступка којим је кроз примену принципа и стратегија циркуларне економије остварена оптимизација фасадног омотача високог објекта током периода од 50 година.

Представљен методолошки поступак се може користити као пример свеобухватног сагледавања животног циклуса објекта, релевантан за процену утицаја примене стратегија циркуларне економије на оптимизацију како целог објекта, тако и његових појединачних елемената.

Хипотеза 2: Пројектовање фасадног омотача са аспекта оптимизације циркуларног потенцијала омогућава продужетак животног века и поновну употребу материјала и елемената од којих је сачињен, чиме се смањује његов утицај на загађење животне средине.

Хипотеза је потврђена кроз чињеницу да је код свих оптимизованих модела остварен продужетак животног века компоненти кроз омогућавање њихове демонтаже у тренутку замене фасадног омотача. Омогућено је поновно искоришћавање компоненти алуминијумских профила и панела, као и минералне вуне чиме су значајно смањени негативни утицаји фасадног омотача на животну средину.

Хипотеза 3: Оптимизација фасадног омотача применом принципа циркуларне економије доводи до редукације потрошње ресурса и директно доприноси смањењу укупне емисије угљен-диоксида целог објекта.

Ова хипотеза је потврђена тиме што је код свих оптимизованих модела примена стратегија циркуларне економије довела до редукације емисије угљен-диоксида у фазама производње, употребе и краја животног циклуса. Међутим, она није потврђена код свих модела када се посматра утицај поступка оптимизације на потрошњу енергије у објекту. Ипак, у укупном резултату код оба модела постоје варијанте које су значајно оптимизоване у односу на основне модела.

Представљено истраживање доприноси унапређењу циркуларног потенцијала фасадних омотача у односу на тренутне могућности, иако концепт циркуларне економије још увек није широко применљив. Оптимизација фасада које сада градимемо је значајна с обзиром да њихов животни век од 25 година и није толико дуг да би потенцијал поновне употребе био занемарен. Истраживање такође указује и на недостатке и ограничења

процеса оптимизације. Приказано истраживање је релевантно за архитекте, произвођаче и друге инжењере који сарађују на пројектовању објеката.

Велики број постојећих истраживања фокусира се на ширу слику потрошње ресурса у грађевинској индустрији, кроз холистички приступ идентификације потенцијала оптимизације свих објеката током фазе пројектовања узимајући у обзир сценарије на крају животног циклуса. За разлику од тога, у овом научном истраживању фокус је на истраживању конкретног објекта, постојећих захтева и материјала тренутно доступних на тржишту, како би се проценила реална примена принципа циркуларне економије у садашњем тренутку.

7.2 ПРАВЦИ ДАЉЕГ ИСТРАЖИВАЊА

Анализом резултата прорачуна је утврђено да постоји додатни потенцијал оптимизације фасадних омотача која би могла повољније да утиче на потрошњу оперативне енергије у објекту, у истраживању је претпостављена иста фасада на све четири стране објекта, што није најповољније решење са аспекта енергетских перформанси омотача. Процењује се да би даље истраживање узимањем у обзир и овог аспекта, могло да оствари још већу оптимизацију фасадног омотача са становишта утицаја на животу средину. Додатно би требало проверити да ли се оптимизација потрошње оперативне енергије може остварити додавањем спољних сенила, с обзиром да су они најчешће од алуминијума за који је установљено да је најпогоднији материјал истраживаних фасада са аспекта циркуларног потенцијала и могућности поновне употребе. Ипак за њега се везује велика потрошња енергије у процесу производње, због чега би требало проверити утицај додавања ове компоненте на укупну емисију угљен-диоксида током животног циклуса објекта.

Поред тога, могући даљи правац истраживања би било испитивање економске исплативости компонената и материјала који су повољнији са аспекта циркуларне економије.

8. ЛИТЕРАТУРА

- Abel, C. (2000). *Architecture and Identity: Responses to Cultural and Technological Change*. Oxford: Architectural Press.
- Addis, B., & Schouten, J. (2004). *Design for deconstruction - principles of design to facilitate reuse and recycling*. London: CIRIA.
- Akadiri, P., & Olomolaiye, P. (2012). Development of sustainable assessment criteria for building materials selection. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 19(6), 666-687.
- Akanbi, L. A., Oyedele, L. O., Akinade, O. O., Ajayi, A. O., Davila Delgado, M., Bilal, M., & Bello, S. A. (2018). Salvaging building materials in a circular economy: A BIM-based whole-life performance estimator. *Resources, Conservation and Recycling*, 129, 175–186.
- Akanbi, L., Oyedele, L., Omoteso, K., Bilal, M., Akinade, O., Ajayi, A., . . . Owolabi, H. (2019). Disassembly and deconstruction analytics system (D-DAS) for construction in a circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 223, 386-396.
- Akhimien, N. G., Latif, E., & Shan Hou, S. (2021). Application of circular economy principles in buildings: A systematic review. *Journal of Building Engineering*, 38. Преузето са <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.102041>
- Akhimien, N., Latif, E., & Shan Hou, S. (2021). Application of circular economy principles in buildings: A systematic review. *Journal of Building Engineering*, 38. Преузето са <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.102041>
- Arup. (2022). *Carbon Footprint of Facades: Significance of Glass*. Преузето са <https://www.arup.com/perspectives/publications/research/section/carbon-footprint-of-facades-significance-of-glass>
- Asendorf, O. (Ур.). (2005). *Das Hochhaus und die europäische Stadt*. Bonn: Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung.
- Azcarate-Aguerre, J., Klein, T., Konstantinou, T., & Veerman, M. (2022). Facades-as-a-Service: The Role of Technology in the Circular Servitisation of the Building Envelope. *Applied Sciences*, 12(1267). Преузето са <https://doi.org/10.3390/>
- Baker-Brown, D. (2017). *The Re-Use atlas: A designer's guide towards a circular economy*. RIBA Publishing.
- Barr, J. (2013). Skyscrapers And Skylines: New York And Chicago, 1885–2007. *Journal of Regional Science*, 53(3), 369-391.
- Bechmann, R., & Weidner, S. (2021). Reducing the Carbon Emissions of High-Rise Structures from the Very. *CTBUH Journal*, 4, 30-35. Преузето са <https://www.wernersobek.com/wp-content/uploads/2022/01/4509-reducing-the-carbon-emissions-of-high-rise-structures-from-the-very-beginning.pdf>
- Benachio, G., Freitas, M., & Tavares, S. (2020). Circular economy in the construction industry: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 260. Преузето са <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121046>

- Berge, B. (2009). *The Ecology of Building Materials*. London: Routledge.
- Berger, T., Prasser, P., & Reinke, H. (2013). Einsparung von Grauer Energie bei Hochhäusern. *Beton- und Stahlbetonbau*, 108(6), 395-403. Пpеyзeтo ca <https://doi.org/10.1002/best.201300019>
- Binow Bitar, A. L., Bergmans, I., & Ritzen, M. (2022). Circular, biomimicry-based, and energy-efficient façade development for renovating terraced dwellings in the Netherlands. *Journal of Facade Design and Engineering*, 10(1), 75-104. Пpеyзeтo ca <http://doi.org/10.47982/jfde.2022.1.04>
- Boulding, K. (1966). The economics of the coming spaceship earth. Y H. Jarret (Yp.), *Environmental quality in a growing economy - essay from the sixth RFF forum* (cтp. 3-14). Baltimore: MD: The Johns Hopkins University Press.
- Brand, S. (1994). *How Buildings Learn: What Happens After They're Built*. New York, United States of America.: Viking Press.
- Braungart, M., & Mc Donough, W. (2002). *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*. New York: North Point Press.
- Brown, T. (2016). Sustainability as Empty Signifier: Its Rise, Fall, and Radical Potential. *Antipode*, 48(1), 115–133.
- Campi, M. (2000). *Skyscrapers: An Architectural Type of Modern Urbanism*. Basel, Boston, Berlin: Birkhäuser.
- Cattelan Nobre, G., & Tavares, E. (2021). The quest for a circular economy final definition: A scientific perspective. *Journal of Cleaner Production*, 314. Пpеyзeтo ca <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127973>
- Cheshire, D. (2016). *Building revolutions applying the circular economy to the built environment*. Newcastle upon Tyne: RIBA Publishing.
- Clark, D. (2012). *What Colour is your Building? Measuring and reducing the energy and carbon footprint of buildings*. London: RIBA Publishing.
- Coalition Circular Accounting. (2020). *The Circular Facade: Building a sustainable financial reality with Facades-as-a-Service*. Пpеyзeтo ca <https://knowledge-hub.circle-economy.com/article/8285?n=The-Circular-Facade-Building-a-sustainable-financial-reality-with-Facades-as-a-Service>
- Cole, R. J., & Kernan, P. C. (1996). Life-cycle energy use in office buildings. *Building and Environment*, 31(4), 307-317.
- Crawford, R. (2011). *Life Cycle Assessment in the Built Environment*. Abdingdon, Oxon: Spon Press, Taylor & Francis group.
- De Certeau, M. (1984). *The Practice of Everyday Life*. Berkeley: University of California Press.
- DeBrincat, G., & Babic, E. (2018). *Re-thinking the life-cycle of architectural glass*. Arup. Пpеyзeтo ca <https://www.arup.com/perspectives/publications/research/section/re-thinking-the-life-cycle-of-architectural-glass>
- Domosh, M. (1988). The Symbolism of the Skyscraper: Case studies of New York's First Tall Buildings. *Journal of Urban History*, 14(3), 321-345. Пpеyзeтo ca <https://doi.org/10.1177/009614428801400302>
- Dräger, P., Letmathe, p., Reinhart, L., & Robineck, F. (2022). Measuring circularity: evaluation of the circularity of construction products using the ÖKOBAUDAT database. *Environmental Sciences Europe*, 34(13). Пpеyзeтo ca <https://doi.org/10.1186/s12302-022-00589-0>

- Drew, C., & Quintanilla, N. (2017). The Path to Life Cycle Carbon Neutrality in High Rise Buildings. *International Journal of High-Rise Buildings*, 6(4), 333-343.
- Dupré, J. (2013). *Skyscrapers: A History of the World's Most Extraordinary Buildings*. New York: Black Dog & Leventhal Publishers.
- Dutch Green Building Council. (2021). *Circular Buildings - a measurement method for disassembly potential 2.0*. Преузето са <https://www.dgbc.nl/publicaties/circular-buildings-een-meetmethodiek-voor-losmaakbaarheid-v20-41>
- EC. (2015). *Closing the loop - An EU action plan for the Circular Economy*.
- Eisele, J., & Kloft, E. (Уредници). (2003). *High-rise Manual: Typology and Design, Construction and Technology*. Basel, Boston, Berlin: Birkhäuser Architecture.
- Ellen MacArthur Foundation. (2015). *Growth within: A circular economy vision for a competitive Europe*. Преузето са <https://ellenmacarthurfoundation.org/towards-a-circular-economy-business-rationale-for-an-accelerated-transition>
- Ellen MacArthur Foundation. (2015). *Towards a circular economy: Business rationale for an accelerated transition*. Преузето са <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/towards-a-circular-economy-business-rationale-for-an-accelerated-transition>
- Ellen MacArthur Foundation. (2019). *Circularity Indicators: An Approach to Measuring Circularity. Methodology*. Преузето са <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/material-circularity-indicator>
- Ellen MacArthur Foundation и Arup. (2022). *From Principles to practices: Realising the Value of Circular Economy in Real Estate*. Преузето са <https://ellenmacarthurfoundation.org/articles/realising-the-value-of-the-circular-economy-in-real-estate>
- Elnimeiri, M., & Gupta, P. (2008). Sustainable structure of tall buildings. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 17, 881-894.
- European Commission. (2019). *European Green Deal*.
- European Commission, D.-G. f. (2020). *Circular economy action plan: for a cleaner and more competitive Europe*. Publications Office of the European Union. Преузето са <https://data.europa.eu/doi/10.2779/05068>
- European Commission, Directorate-General for Environment. (2021). *A new Circular Economy Action Plan For a cleaner and more competitive Europe*. Brussels. Преузето са <https://www.europarl.europa.eu/legislative-train/theme-a-european-green-deal/file-new-circular-economy-action-plan>
- Ford, L. (1994). *Cities and Buildings: Skyscrapers, Skid Rows, and Suburbs*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Foundation, E. M. (2015). *Towards a circular economy: Business rationale for an accelerated transition*. Преузето са <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/towards-a-circular-economy-business-rationale-for-an-accelerated-transition>
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M., & Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 157, 757-768. Преузето са <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>.

- Giordano, R., Giovanardi, M., Guglielmo, G., & Micono, C. (2017). Embodied energy and operational energy evaluation in tall buildings according to different typologies of façade. *Energy Procedia*, 134, 224–233.
- Giovanardi, M., Konstantinou, T., Pollo, R., & Klein, T. (2023). Internet of Things for building façade traceability: A theoretical framework to enable circular economy through life-cycle information flows. *Journal of Cleaner Production*, 382. Прейзето ca <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135261>
- Glanz, J., & Lipton, E. (2003). *City in the sky : the rise and fall of the World Trade Center*. New York: Times Books.
- Godoy-Shimizu, D., Steadman, P., Hamilton, I., Donn, M., Evans, S., Moreno, G., & Shayesteh, H. (2018). Energy use and height in office buildings. *Building Research & Information*, 46, 845-863.
- Goss, J. (1988). The Built Environment and Social Theory. *Professional Geographer*, 40(4), 392-403.
- Gottmann, J. (1966). Why the Skyscraper? *Geographical Review*, 56(2), 190-212. Прейзето ca <https://doi.org/10.2307/212878>
- Grom, R., & Putz, A. (2022). Renovating Modern Heritage: The Upgraded Façade of Commerzbank Düsseldorf. *Journal of Facade Design and Engineering*, 10(2), 57-70. Прейзето ca <https://doi.org/10.47982/jfde.2022.powerskin.4>
- Guldager, K., & Sommer, J. (2016). *Building a circular future*. Hvidovre: The Danish Environmental Protection Agency.
- Gunasekaran, U., Premalatha, E., & Malini, T. P. (2010). Facades of Tall Buildings – State of the Art. *Modern Applied Science*, 4(12), 116-125.
- Hart, J., Adams, K., Giesekam, J., Tingley, D. D., & Pomponi, F. (2019). Barriers and drivers in a circular economy: The case of the built environment. , 80,. doi:10.1016/j.procir.2018.12.015. *Procedia CIRP*, 80, 619–624. Прейзето ca <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.12.015>
- Hartwell, R., & Overend, M. (2020). End-of-Life Challenges in Facade Design: A disassembly framework for assessing the environmental reclamation potential of facade systems. *Façade Tectonics World Congress 2020 Conference*. Прейзето ca <https://www.facadetectonics.org/papers/end-of-life-challenges-in-facade-design>
- Hartwell, R., Macmillan, S., & Overend, M. (2021). Circular economy of façades: Real-world challenges and opportunities. *Resources, Conservation & Recycling*, 175. Прейзето ca <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105827>
- Heisel, F., & Rau-Oberhuber, S. (2020). Calculation and evaluation of circularity indicators for the built environment using the case studies of UMAR and Madaster. *Journal of Cleaner Production*, 243(118482). Прейзето ca <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118482>
- Herzog, T., Krippner, R., & Lang, W. (2012). *Facade Construction Manual. DETAIL Construction Manuals*. Munich: Walter de Gruyter.
- Hillebrandt, A., Riegler-Floors, P., Rosen, A., & Seggewies, J.-K. (2018). *Recycling Atlas: Gebäude als Materialressource*. Edition Detail. Munich: Detail Business Information GmbH.
- Hollister, N. (2013). The History of European Skyscraper. *CTBUH Journal*, 2, 52-55.
- Honic, M., Kovacic, I., & Rechberger, H. (2019). Improving the recycling potential of buildings through Material Passports (MP): An Austrian case study. *Journal of Cleaner Production*, 217, 787-797. Прейзето ca <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.212>

- Huxtable, A. L. (1993). *The Tall Building Artistically Reconsidered: The Search for a Skyscraper Style*. Berkeley: University of California Press.
- Jacobs, J. (2006). A geography of big things. *Cultural geographies*, 13, 1-27.
- Jin, Q., & Overend, M. (2014). A prototype whole-life value optimization tool for facade design. *Journal of Building Performance Simulation*, 7(3), 217-232.
- King, A. (2004). *Spaces of Global Culture: Architecture, Urbanism, Identity*. London: Routledge.
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation & Recycling*, 127, 221-232.
- Kirchherr, J., Yang, N.-H., Schulze-Spüntrup, F., Heerink, M., & Hartley, K. (2023). Conceptualizing the Circular Economy (Revisited): An Analysis of 221 Definitions. *Resources, Conservation & Recycling*, 194.
- Klein, T. (2013). *Integral Facade Construction. Towards a New Product Architecture for Curtain Walls*. Докторска дисертација. A+BE | Architecture and the Built Environment, TU Delft.
- Knaack, U., Klein, T., Bilow, M., & Auer, T. (2007). *Façades Principles of Construction*. Berlin: Birkhäuser Verlag AG.
- König, H., Kohler, N., Kreißig, J., & Lützkendorf, T. (2009). *Lebenszyklusanalyse in der Gebäudeplanung*. München: DETAIL.
- Koolhaas, R. (1994). *Delirious New York: A Retroactive Manifesto for Manhattan*. London, New York: The Monacelli Press .
- Korhonen, J., Honkasalo, A., & Seppälä, J. (2018). Circular Economy: The Concept and its Limitations. *Ecological Economics*, 143, 37-46.
- Kragh, M., & Jakica, N. (2022). Circular economy in facades. Y E. Gasparri, A. Brambilla, G. Lobaccaro, F. Goia, A. Andaloro, & A. Sangiorgio, *Rethinking Building Skins: Transformative Technologies and Research Trajectories* (стр. 519-539). Woodhead Publishing, Series in Civil and Structural Engineering. Преузето са <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822477-9.00016-4>
- Lam, W., Claes, S., & Ritzen, M. (2022). Exploring the Missing Link between Life Cycle Assessment and Circularity Assessment in the Built Environment. *Buildings*, 12(2152). Преузето са <https://doi.org/10.3390/buildings12122152>
- Leslie, T. (2010). Dankmar Adler's Response to Louis Sullivan's The Tall Office Building Artistically Considered, Architecture and the Four Causes. *Journal of Architectural Education*, 64(1), 83-93.
- Madaster. (2021). *Madaster Circularity Indicator*. Преузето са <https://docs.madaster.com/files/en/Madaster%20-%20Circularity%20Indicator%20explained.pdf>
- Madaster. (2022). *Madaster User Manual: General user guide of the Madaster Platform*. Преузето са <https://docs.madaster.com/files/en/Madaster%20-%20User%20Manual.pdf>
- Malabi Eberhardt, L. C., Birkved, M., & Birgisdottir, H. (2020). Building design and construction strategies for a circular economy. *Architectural Engineering and Design Management*. doi:10.1080/17452007.2020.1781588
- Mazur-Wierzbicka, E. (2021). Circular economy: advancement of European Union countries. *Environmental Sciences Europe*, 33(111). Преузето са <https://doi.org/10.1186/s12302-021-00549-0>

- McNeill, D. (2005). Skyscraper geography. *Progress in Human Geography*, 29(1), 41-55.
- Memari, A. (2013). *Curtain Wall Systems: A Primer*. Reston: American Society of Civil Engineers.
- Merwood-Salisbury, J. (2012). The Death of the Skyscraper. *Journal of Urban History*, 38(6), 1133–1137.
- Mhatre, P., Gedam, V., Unnikrishnan, S., & Verma, S. (2021). Circular economy in built environment – Literature review and theory development. *Journal of Building Engineering*, 35. Прейзето ca <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101995>
- Moon, K. S. (2013). Dynamic Interaction between Technology and Architectural Aesthetics in Tall Buildings. *Journal of Urban Technology*, 20(2), 3-24.
- Navaei, F. (2015). An Overview of Sustainable Design Factors in High-Rise Buildings. *International Journal of Science, Technology and Society*, 3(2-1), 18-23.
- Niero, M., & Kalbar, P. P. (2019). Coupling material circularity indicators and life cycle based indicators: A proposal to advance the assessment of circular economy strategies at the product level. *Resources, Conservation and Recycling*, 140, 305-312. Прейзето ca <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.10.002>
- Norouzi, M., Chàfer, M., Cabeza, L. F., Jiménez, L., & Boer, D. (2021). Circular economy in the building and construction sector: A scientific evolution analysis. *Journal of Building Engineering*, 44. Прейзето ca <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102704>
- Oldfield, P., Trabucco, D., & Wood, A. (2009). Five energy generations of tall buildings: an historical analysis of energy consumption in high-rise buildings. *The Journal of Architecture*, 14(5), 519-613.
- Parker, M. (2015). Vertical capitalism: Skyscrapers and organization. *Culture & Organization*, 21(3), 217-234.
- Pelli, C., & Crosbie, M. J. (2001). *Petronas towers: the architecture of high construction*. London: Wiley-Academy.
- Pomponi, F., & Moncaster, A. (2017). Circular economy for the built environment: A research framework. *Journal of Cleaner Production*, 143, 710-718. Прейзето ca <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.055>
- Rafiei, M., & Adeli, H. (2016). Sustainability in highrise building design and construction. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 25(13), 643–658. Прейзето ca <https://doi.org/10.1002/tal.1276>
- Rafiei, M., & Adeli, H. (2016). Sustainability in highrise building design and construction. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 25(13), 643-358.
- Reike, D. V. (2018). The circular economy: New or Refurbished as CE 3.0? - Exploring Controversies in the Conceptualization of the Circular Economy through a Focus on History and Resource Value Retention Options. *Resources, Conservation and Recycling*, 135, 246–264. Прейзето ca <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.027>
- Röck, M., Saade, M., Balouktsi, M., Rasmussen, F., Birgisdottir, H., Frischknecht, R., . . . Passer, A. (2020). Embodied GHG emissions of buildings – The hidden challenge for effective climate change mitigation. *Applied Energy*, 258. Прейзето ca <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261919317945>

- Sáez-de-Guinoa, A., Zambrana-Vasquez, D., Fernández, V., & Bartolomé, C. (2022). Circular Economy in the European Construction Sector: A Review of Strategies for Implementation in Building Renovation. *Energies*, 15(4747). Прейзето ca <https://doi.org/10.3390/en15134747>
- Saidani, M., Yannou, B., Leroy, Y., Cluzel, F., & Kendall, A. (2019). A taxonomy of circular economy indicators. *Journal of Cleaner Production*, 207, 542-559. Прейзето ca <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.014>
- Sanchez, B., & Haas, C. (2018). Capital project planning for a circular economy. *Construction Management and Economics*, 36(6), 303-312.
- Schittich, Christian (Ed.). (2002). *In detail: building skins: concepts, layers, materials*. New York: Princeton Architectural Press.
- Sklair, L. (2006). Iconic Architecture and Capitalist Globalization. *City*, 10(1), 21-47.
- Soares Gonçalves, J. C. (2010). *The Environmental Performance of Tall Buildings*. London: Routledge.
- Sommer, J., & Guldager, K. (2016). *Building a circular future*. Hvidovre: The Danish Environmental Protection Agency.
- Sonder, B. (1999). *Skyscrapers*. New York: MetroBooks.
- Stafford-Smith, B., & Coull, A. (1991). *Tall Building Structures: Analysis and Design*. New York: John Wiley & Sons.
- Stanek, L. (2011). *Henri Lefebvre on space: architecture, urban research, and the production of theory*. Minneapolis, London: University of Minnesota Press.
- Steele, J. (2005). *Ecological architecture: a critical history*. London: Thames & Hudson.
- Straube, J., & Burnett, E. (2005). *Building science for building enclosures*. Westford: Building science press.
- Sullivan, L. H. (1896). The Tall Office Building Artistically Considered. *Lippincott's Magazine*, 57, 403-409.
- Taranath, B. (2010). *Reinforced Concrete Design of Tall Buildings*. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Trabucco, D. (2012). Life Cycle Energy Analysis of Tall Buildings: Design principles. *Asia Ascending: Age of the Sustainable Skyscraper City* (стр. 447-453). Shanghai: CTBUH. Прейзето ca <https://global.ctbuh.org/resources/papers/download/961-life-cycle-energy-analysis-of-tall-buildings-design-principles.pdf>
- Trabucco, D., Wood, A., Popa, N., Vassart, O., & Davies, D. (2015). *Life Cycle Assessment of Tall Building Structural Systems*. Chicago.: Council on Tall Buildings and Urban Habitat.
- Upjohn, E. M. (1935). Buffington and the Skyscraper. *The Art Bulletin*, 17(1), 48-70. Прейзето ca <https://doi.org/10.2307/3045566>
- van Stijn, A., Malabi Eberhardt, L., Wouterszoon Jansen, B., & Meijer, A. (2021). A Circular Economy Life Cycle Assessment (CE-LCA) model for building components. *Resources, Conservation and Recycling*, 174. Прейзето ca <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105683>
- Vanhamäki, S., Rinkinen, S., & Manskinen, K. (2021). Adapting a Circular Economy in Regional Strategies of the European Union. *Sustainability*, 13(1518). Прейзето ca <https://doi.org/10.3390/su13031518>

- Watts, A. (2019). *Modern Construction Envelopes: Systems for architectural design and prototyping*. Berlin, Boston: Birkhäuser.
- Weber, T., & Stuchtey, M. (2019). *Deutschland auf dem Weg zur Circular Economy – Erkenntnisse aus europäischen Strategien (Vorstudie)*. München: Deutsche Akademie der Technikwissenschaften. Преузето са <https://www.acatech.de/publikation/deutschland-auf-dem-weg-zur-circular-economy/>
- Webster, J. C. (1959). The Skyscraper: Logical and Historical Considerations. *Journal of the Society of Architectural Historians*, 18(4), 126-139.
- Wigginton, M. (1996). *Glass in architecture*. London: Phaidon.
- Willis, C. (1995). *Form Follows Finance: Skyscrapers and Skylines in New York and Chicago*. New York: Princeton Architectural Press.
- Wood, A. (2007). Sustainability: a new high-rise vernacular? *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 16, 401-410.
- Wright, F. L. (1955). *An American architecture*. New York: Horizon Press.
- Yeang, K. (1999). *The Green Skyscraper: The Basis for Designing Sustainable Intensive Buildings*. London, New York: Prestel Publishing.
- Yeang, K. (1996). *The Skyscraper Bioclimatically Considered*. London: John Wiley & Sons.
- Аничин, В., & Мишић, Р. (1977). Колико високо тежи Београд. *Урбанизам Београда*, 38/39, 41-48.
- Вентури, Р. (2008). *Сложености и противречности у архитектури*. (О. Поповић, Прев.) Београд: Грађевинска књига.
- Гидион, З. (2012). *Простор, време и архитектура: развој нове традиције*. Београд: Грађевинска књига.
- Ђорђевић-Цигановић, Ј., & Михаљевић, В. (2011). Поглед на Београд са висине. (М. В. Лазар, Ур.) *ИНФО*, 33, 9-51.
- Јанг, К. (2014). Теорија еколошког пројектовања. У П. Бојанић, & В. Ђокић, *Техника и технологија у архитектури* (стр. 218-224). Београд: Универзитет у Београду - Архитектонски факултет.
- Ле Корбизје. (2006). *Ка правој архитектури*. Београд: Грађевинска књига.
- Менделсон, А. (1976). Размишљања о висини (спратности) стамбених зграда. *Изградња*, 1/76, 58-63.
- Милашиновић Марић, Д. (2002). *Водич кроз модерну архитектуру Београда*. Београд: Друштво архитеката Београда.
- Перовић, М. (2000). *Историја модерне архитектуре: антологија текстова. Књига 2/А: Кристализација модернизма, Велики мајстори*. Београд: Универзитет у Београду - Архитектонски факултет.
- Славковић, К. (2016). *Процена уграђене и оперативне енергије за одабране нивое унапређења енергетских својстава породичних кућа*. Докторска дисертација. Универзитет у Београду - Архитектонски факултет.
- Фремpton, К. (2004). *Модерна архитектура критичка историја*. (М. Николић, Прев.) Београд: Орион арт.

Џенкс, Ч. (1990). *Модерни покрети у архитектури*. (С. Максимовић, Прев.) Београд: Грађевинска књига.

Џенкс, Ч. (2007). *Нова парадигма у архитектури*. (М. Милосављевић, Прев.) Београд: Орион арт.

Директиве

Европска Комисија. (2011). Roadmap to a Resource Efficient Europe. European Brussels, Belgium.

Европска Комисија. (2015). Closing the Loop - an EU Action Plan for the Circular Economy. Brussels, Belgium.

Европска Комисија (2019). The European Green Deal. European Comission, Brussels, Belgium.

Европска Комисија (2020). A New Circular Economy Action Plan - For a cleaner and more competitive Europe. Brussels, Belgium

Правилници

Службени гласник РС. (бр. 61/2011). Правилник о енергетској ефикасности зграда.

Службени гласник РС. (бр. 80/2015, 67/2017 и 103/2018). Правилник о техничким нормативима за заштиту високих објеката од пожара.

Службени гласник РС. (бр. 59/2016, 36/2017 и 6/2019). Правилник о техничким захтевима безбедности од пожара спољних зидова зграда.

Службени лист СФРЈ. (бр. 35/1970). Правилник о техничким мерама и условима за топлотну заштиту зграда.

Програми

Министарство заштите животне средине Републике Србије. (2022). Програм развоја циркуларне економије у Републици Србији за период 2022-2024. године. Службени Гласник Републике Србије бр.137/2022. Београд: Влада Републике Србије.

Министарство заштите животне средине Републике Србије. (2022). Програм управљања отпадом у Републици Србији за период 2022-2031. године. Београд: Влада Републике Србије.

Стандарди

ISO 14001 - Међународни стандард, (2004). Системи управљања заштитом животне средине – Спецификација захтева са упутством за примену.

ISO 14004 - Међународни стандард, (2004). Системи управљања заштитом животне средине – Опште смернице за принципе, системе и технике подршке.

ISO 14040 - Међународни стандард, (1997). Управљање заштитом животне средине – Оцена животног циклуса – Принципи и оквири.

ISO 14041 - Међународни стандард, (1998). Управљање заштитом животне средине – Оцена животног циклуса – Дефинисање подручја примене и циљева и анализа инвентара

ISO 14042 - Међународни стандард, (2000). Управљање заштитом животне средине – Оцена животног циклуса – Анализа утицаја животног циклуса.

ISO 14043 - Међународни стандард, (2000). Управљање заштитом животне средине – Оцена животног циклуса – Тумачење животног циклуса.

ISO 14048 – Техничка спецификација, (2002). Управљање заштитом животне средине – Оцена животног циклуса – Формат документације ЛЦА података.

EN 15804:2012+A2:2019 - Међународни стандард. (2019). Sustainability of construction works - Environmental Product Declarations. European Standard. Geneva: European Committee for Standardization

Извори са интернета

Веб-странице

<https://www.alukoenigstahl.rs/en> (приступљено 05.2023)
<https://ce-toolkit.dhub.arup.com/> (приступљено 01.2023)
<https://circulareconomy.europa.eu/platform/en/strategie> (приступљено 01.2023)
<https://www.ctbuh.org/> (приступљено 10.2022)
<https://ellenmacarthurfoundation.org/> (приступљено 01.2023)
<https://www.elval-colour.com/en/home> (приступљено 06.2023)
<https://european-aluminium.eu/> (приступљено 05.2023)
<https://www.guardianglass.com/eu/en> (приступљено 06.2023)
<https://www.hydro.com/en-de> (приступљено 05.2023)
<https://ibu-epd.com/en/> (приступљено 05.2023)
<https://www.knauf.rs/> (приступљено 06.2023)
<https://www.reynaers.com/> (приступљено 06.2023)
<https://www.rockwool.com> (приступљено 06.2023)
<https://www.saint-gobain.com/en> (приступљено 03.2023)
<https://www.schueco.com/de-en/architects> (приступљено 03.2023)
<https://www.schueco.com/carboncontrol-en/start> (приступљено 06.2023)
<https://www.wicona.com/en/int/> (приступљено 03.2023)

Базе података

<https://2050-materials.com/> (приступљено 04.2023)
<https://docucenter.schueco.com/web/main/SinglePageApp> (приступљено 02.2023)
<https://ecoinvent.org/the-ecoinvent-database/> (приступљено 04.2023)
<https://www.environdec.com/library> (приступљено 04.2023)
<https://ibu-epd.com/en/published-epds/> (приступљено 04.2023)
<https://madaster.com/> (приступљено 07.2023)
<https://www.oekobaudat.de/> (приступљено 04.2023)
<https://www.skyscrapercenter.com/explore-data> (приступљено 10.2022)

Онлајн софтвери

<https://calumen.com> (приступљено више пута у периоду од 10.-12.2024)
<https://madaster.de/en/platform/> (приступљено више пута у периоду од 02.-10.2023)

9. ПРИЛОЗИ

ПРИЛОГ 1. Анализа високих објеката у Европи у односу на период изградње, висину и намену

Подаци за анализу су прикупљени из базе података организације Високи објекти анализирани су према следећој класификацији постављеној од стране аутора дисертације:⁷⁷

1. Период изградње

- Од 1971. до 1980. године
- Од 1981. до 1990. године
- Од 1991. до 2000. године
- Од 2001. до 2010. године
- Од 2011. до 2020. године
- Од 2021. до 2025. године

2. Намена објеката (скраћенице за податке у табелама)

- Објекти само стамбене намене (С)
- Објекти само пословне намене (П)
- Објекти комбиноване намене који обједињују пословање са становањем или хотелима (К)
- Остале намене укључују комерцијалне објекте (О)

3. Висина објеката

- Објекти висине до 100 метара
- Објекти висине од 100 до 150 метара
- Објекти висине од 150 до 200 метара
- Објекти висине од 200 до 300 метара
- Објекти висине од 300 до 400 метара
- Објекти виши од 400 метара

⁷⁷ Подаци за анализу прикупљени су из базе података доступне на <https://www.skyscrapercenter.com/explore-data>

Табела 9.1.1 Приказ укупног броја изграђених високих објеката у Европи, у односу на период изградње, намену и висину објеката.

Европа

период изградње	1971-1980				1981-1990				1991-2000			
	намена	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К
до 100м	79	63	18	33	20	35	1	13	21	83	2	10
100-150м	36	44	9	16	4	20	3	4	7	43	2	3
150-200м	1	6	2			4				9		1
200-300м		1				1				4	1	
300-400м												
400+м												
укупно по намени	116	114	29	49	24	60	4	17	28	139	5	14
укупно високих објеката		308				105				186		

период изградње	2001-2010				2011-2020				2021-2025			
	намена	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К
испод 100м	120	130	35	31	217	129	95	41	76	44	22	1
100-150м	116	58	37	7	95	45	35	7	48	18	19	2
150-200м	12	17	2	2	21	22	9		16	9	9	1
200-300м	1	5	3		4	11	5		6	9	5	0
300-400м	1				1		5			1		
400+м						1						
укупно по намени	250	210	77	40	338	208	149	48	146	81	55	4
укупно високих објеката		577				743				286		

Табела 9.1.2 Приказ броја изграђених високих објеката у Аустрији, Белгији и Бугарској, у односу на период изградње, намену и висину објеката.

Аустрија

период изградње	1971-1980				1981-1990				1991-2000				2001-2010				2011-2020				2021-2025			
	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О
намена	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О
до 100м	5	1			2				2	3		1	5	10		3	1	7		1	1			
100-150м		1							1	1			2	3			1	2			5	1	1	
150-200м																					1			
200-300м											1								1					
300-400м																								
400+м																								
укупно по намени	5	2	/	/	2	/	/	/	3	4	1	1	7	13	/	3	2	9	1	1	7	1	1	/
укупно високих објеката	7				2				9				23				13				9			

Белгија

период изградње	1971-1980				1981-1990				1991-2000				2001-2010				2011-2020				2021-2025			
	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О
намена	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О
до 100м	5	4											2	4	1	1	3	3	4	1	1			
100-150м	1	3			1				2		1		3				1	4	1		1			
150-200м																								
200-300м																								
300-400м																								
400+м																								
укупно по намени	6	7	/	/	/	1	/	/	2	/	1		2	7	1	1	4	7	5	1	/	1	1	/
укупно високих објеката	13				1				3				11				17				2			

Бугарска

период изградње	1971-1980				1981-1990				1991-2000				2001-2010				2011-2020				2021-2025			
	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О
намена	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О
до 100м		1		5	1											1	2	1	3	2	1	1		
100-150м				2													1	2		1				1
150-200м																								
200-300м																								1
300-400м																								
400+м																								
укупно по намени	/	1	/	7	/	1	/	/					/	/	/	1	3	3	3	3	1	2	1	/
укупно високих објеката	8				1				0				1				12				4			

Табела 9.1.3 Приказ броја изграђених високих објеката у Данској, Италији и на Кипру, у односу на период изградње, намену и висину објеката.

Данска

период изградње	1971-1980				1981-1990				1991-2000				2001-2010				2011-2020				2021-2025			
	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О
намена																								
до 100м				1									2	1		1	9	1	1	3	3			
100-150м				1													1		2		2			
150-200м																								
200-300м																								
300-400м																								
400+м																								
укупно по намени	/	/	/	2									2	1	/	1	10	1	3	3	5	/	/	/
укупно високих објеката				2				0				0				4				17				5

Италија

период изградње	1971-1980				1981-1990				1991-2000				2001-2010				2011-2020				2021-2025			
	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О
намена																								
до 100м	2				4				12	1			12	3	2	2	12	7		1	1	2		
100-150м					2				8	2					1		3	5					2	
150-200м																			3				1	
200-300м																			2				1	
300-400м																								
400+м																								
укупно по намени	2	/	/	/	/	6	/	/	/	20	/	3	12	3	3	2	15	17	/	1	1	6	/	
укупно високих објеката				2				6				23				20				33				7

Кипар

период изградње	1971-1980				1981-1990				1991-2000				2001-2010				2011-2020				2021-2025			
	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О
намена																								
до 100м									1	1					1		1	1	2	1			1	
100-150м																	1						4	
150-200м																							3	1
200-300м																								
300-400м																								
400+м																								
укупно по намени									1	1	/	/	/	/	1	/	2	1	2	1	7	/	2	/
укупно високих објеката				0				0				2				1				6				9

Табела 9.1.4 Приказ броја изграђених високих објеката у Норвешкој, Немачкој и Пољској у односу на период изградње, намену и висину објеката.

Норвешка

период изградње	1971-1980				1981-1990				1991-2000				2001-2010				2011-2020				2021-2025			
	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О
до 100м				1											2	2	11	6	1					
100-150м	1						1																	
150-200м																								
200-300м																								
300-400м																								
400+м																								
укупно по намени	/	1	/	1				1					/	/	2	2	11	6	1	/				
укупно високих објеката		2				1				0				4				18				0		

Немачка

период изградње	1971-1980				1981-1990				1991-2000				2001-2010				2011-2020				2021-2025			
	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О
до 100м	8	13	8	2	2		3		14	1	3		2	26	2	6	7	18	4	3	6	12	3	
100-150м	4	14	3	3	2		2		12	1			11	1			1		5		1	3	3	
150-200м		1	1		2				1				3				1	3	1		1		2	
200-300м					1				3								1						1	
300-400м																								
400+м																								
укупно по намени	12	28	12	5	/	7	/	5	/	30	2	3	2	40	3	6	9	22	10	3	8	15	9	/
укупно високих објеката		57				12				35				51				44				32		

Пољска

период изградње	1971-1980				1981-1990				1991-2000				2001-2010				2011-2020				2021-2025			
	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О
до 100м				1	2	2		1	2				2	4	1	2	15	8	6	1	3	3		
100-150м		2		1			1		5				2	2				4	2	1		4		
150-200м									1				1	1			2	2	1		1	4		
200-300м																		1	1			1		
300-400м																						1		
400+м																								
укупно по намени	/	2	/	2	2	2	1	1	8				4	7	1	3	17	15	10	2	4	13	/	/
укупно високих објеката		4				6				8				15				44				17		

Табела 9.1.5 Приказ броја изграђених високих објеката у Румунији, европском делу Русије и Словачкој, у односу на период изградње, намену и висину објеката.

Румунија

период изградње	1971-1980				1981-1990				1991-2000				2001-2010				2011-2020				2021-2025			
	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О
намена																								
до 100м			1				1			1				5		1		3		2				
100-150м														1				2						
150-200м																								
200-300м																								
300-400м																								
400+м																								
укупно по намени			1				1			1			/	6	/	1	/	5	2	/				
укупно високих објеката			1				1			1				7				7						0

Русија (европски део)

период изградње	1971-1980				1981-1990				1991-2000				2001-2010				2011-2020				2021-2025			
	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О
намена																								
до 100м		1							7	2			4	6	12	2	30	18	33	1	6			
100-150м		2		6		3		1		3			56	10	18		28	7	15	2	1			
150-200м									1				9	1			11	2	1		5	2	1	
200-300м													1	1	2		1	2	2		5	2	1	
300-400м													1				1		4					
400+м																		1						
укупно по намени	/	3	/	6	/	3	/	1	7	6	/	/	71	18	32	2	71	30	55	3	17	4	2	/
укупно високих објеката		9				4				13				123				159						23

Словачка

период изградње	1971-1980				1981-1990				1991-2000				2001-2010				2011-2020				2021-2025			
	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О
намена																								
до 100м	1			1		2				1			4	2				2	1					1
100-150м		1				1							1	3			5	1						3
150-200м																								1
200-300м																								
300-400м																								
400+м																								
укупно по намени	1	1	/	1		3				1			5	5			5	3	1	/	4	1	/	/
укупно високих објеката		3				3				1				10				9						5

Табела 9.1.6 Приказ броја изграђених високих објеката у Уједињеном краљевству, Украјини и Финској, у односу на период изградње, намену и висину објеката.

Уједињено Краљевство

период изградње	1971-1980				1981-1990				1991-2000				2001-2010				2011-2020				2021-2025							
	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О				
намена	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О
до 100м	15	10	5	3	6	2			1	4		1	27	9	4	1	43	25	16	5	29	11		11				
100-150м	3	2	1	1					2				8	1	5		36	3	2	1	22	3		8				
150-200м		2											7	1			7	3	1		1	1		2				
200-300м									1				1				3	3	1		1	1		1				
300-400м																			1									
400+м																												
укупно по намени	18	14	6	4	/	6	/	2	1	7	/	1	35	18	10	1	89	34	21	6	53	16	22	/				
укупно високих објеката	42				8				9				64				150				91							

Украјина

период изградње	1971-1980				1981-1990				1991-2000				2001-2010				2011-2020				2021-2025							
	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О				
намена	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О
до 100м														2			7							6				
100-150м					1								9	1	1	1	3	2						1				
150-200м																			1									
200-300м																												
300-400м																												
400+м																												
укупно по намени						1							9	3	1	1	10	2	1	/				7				
укупно високих објеката	0				1				0				14				13				7							

Финска

период изградње	1971-1980				1981-1990				1991-2000				2001-2010				2011-2020				2021-2025							
	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О				
намена	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О
до 100м		1				1			2	2			3	2			7	1		2				1				
100-150м																			1					2				
150-200м																												
200-300м																												
300-400м																												
400+м																												
укупно по намени		1				1			2	2	/	/	3	2	/	/	8	1	/	2				3				
укупно високих објеката	1				1				4				5				11				3							

Табела 9.1.7 Приказ броја изграђених високих објеката у Француској, Холандији и Шпанији, у односу на период изградње, намену и висину објеката.

Француска

период изградње	1971-1980				1981-1990				1991-2000				2001-2010				2011-2020				2021-2025			
	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О
до 100м	10	3	1	1	3				4				2				15	7		7	4	2	2	1
100-150м	22	14	1	2	6				3				5				1				3			1
150-200м	1	3	1		1				3				4				7				1			1
200-300м		1															2				2			
300-400м																								
400+м																								
укупно по намени	33	21	3	3	0	10	0	0	0	10	0	0	0	11	0	0	15	17	0	7	4	8	2	3
укупно високих објеката	60				10				10				11				39				17			

Холандија

период изградње	1971-1980				1981-1990				1991-2000				2001-2010				2011-2020				2021-2025			
	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О
до 100м	14	18	1	3	7	8			2	27	1		28	26	5	2	24	6	12	3	6	2	2	
100-150м		1			1		1		3	3	1		11	9	1		5	4	1		6		1	1
150-200м									2				2	1					1		1			1
200-300м																								1
300-400м																								
400+м																								
укупно по намени	14	19	1	3	8	8	1	0	5	32	2	0	41	36	6	2	29	10	14	3	13	2	5	1
укупно високих објеката	37				17				39				85				56				21			

Шпанија

период изградње	1971-1980				1981-1990				1991-2000				2001-2010				2011-2020				2021-2025			
	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О
до 100м	3	2	3	2	1	1			5		1		14	6	3	4	9	3	2	2	4			1
100-150м		1	2		1	2			2	2			22	4	5	5	2	3			1			
150-200м					1				1	1			1			1	1	2			1			
200-300м													3	1										
300-400м																								
400+м																								
укупно по намени	3	3	5	2	2	4	0	0	2	8	0	2	37	13	9	10	11	7	4	2	6	0	1	0
укупно високих објеката	13				6				12				69				24				7			

Табела 9.1.8 Приказ броја изграђених високих објеката у Шведској и Швајцарској, у односу на период изградње, намену и висину објеката.

Шведска

период изградње	1971-1980				1981-1990				1991-2000				2001-2010				2011-2020				2021-2025			
	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О
до 100м					1	1			1				1			1	11		1	5	3		1	
100-150м													1				4	1	1	1			1	
150-200м													1											
200-300м																							1	
300-400м																								
400+м																								
укупно по намени					/	1	1	/	1				1	1	1	1	15	1	2	6	3	1	2	/
укупно високих објеката	0				2				1				4				24				6			

Швајцарска

период изградње	1971-1980				1981-1990				1991-2000				2001-2010				2011-2020				2021-2025			
	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О	С	П	К	О
до 100м	2			1					1				1				3	4	5		1	1		
100-150м													1				1	1						1
150-200м																	1							
200-300м																							1	
300-400м																								
400+м																								
укупно по намени	2	/	0	/					1				/	1	1	/	4	6	5	/	1	2	1	/
укупно високих објеката	3				0				1				2				15				4			

ПРИЛОГ 2. Истраживање утицаја производње равног стакла и различитих конфигурација термоизолационих стаклених пакета на животу средину

Табела 9.2.1 Упоредни приказ стакла PLANICLEAR и ORAÉ утицаја на животну средину током фаза животног циклуса за стакло дебљине 4 mm

Тип стакла		PLANICLEAR	ORAÉ
Индикатори утицаја на животну средину			
GWP tot	A1-A3	1,09E+01	5,88E+00
kg CO ₂ eq.	B2	0,095	1,84E-01
Потенцијал глобалног загревања - укупно	Ц4	1,40E-01	1,60E-01
GWP	A1-A3	1,07E+01	5,86E+00
kg CO ₂ eq.	B2	0,081	8,08E-02
Потенцијал глобалног загревања - фосилно	Ц4	1,52E-01	1,52E-01
GWP	A1-A3	1,92E-01	1,08E-02
kg CO ₂ eq.	B2	/	3,05E-02
Потенцијал глобалног загревања - биогено	Ц4	/	8,00E-03
GWP	A1-A3	4,34E-03	3,43E-03
kg CO ₂ eq.	B2	0,073	7,28E-02
Потенцијал глобалног загревања - земљишта	Ц4	4,37E-04	4,37E-04
ODP	A1-A3	2,82E-09	4,70E-09
kg CFC-11 eq.	B2	4,00E-09	4,39E-09
Потенцијал оштећења озонског омотача	Ц4	5,62E-16	5,62E-16
AP	A1-A3	5,82E-02	2,84E-02
mol H ⁺ eq.	B2	5E-04	4,99E-04
Потенцијал ацидификације	Ц4	1,09E-03	1,09E-03
EP	A1-A3	8,42E-06	4,71E-05
kg P eq.	B2	3E-05	3,23E-05
Потенцијал Еутрофикације - слатка вода	Ц4	2,60E-07	2,60E-07
EP	A1-A3	1,38E-02	6,27E-03
kg N eq.	B2	5E-04	5,33E-04
Потенцијал Еутрофикације - слана вода	Ц4	2,80E-04	2,80E-04
EP	A1-A3	1,72E-01	6,80E-02
Mol N eq.	B2	0,001	1,38E-03
Потенцијал Еутрофикације - земљиште	Ц4	3,08E-03	3,08E-03
POCP	A1-A3	3,61E-02	1,77E-02
kg NMVOC eq.	B2	3E-04	3,22E-04
Потенцијал формирања фото- хемијског озона, утицај на здравље људи	Ц4	8,48E-04	8,48E-04
ADPE	A1-A3	8,79E-07	1,09E-06
kg Sb eq.	B2	3E-06	2,55E-06
Потрошња ресурса - минералних	Ц4	1,36E-08	1,36E-08
ADPF	A1-A3	1,44E+02	7,71E+01
MJ	B2	1,38	1,38E+00
Потрошња ресурса - фосилних	Ц4	1,99E+00	1,99E+00
WU	A1-A3	9,04E-01	1,29E+00
m ³	B2	0,327	3,27E-01
Потрошња воде	Ц4	1,59E-02	1,59E-02

Тип стакла		<i>PLANICLEAR</i>	<i>ORAÉ</i>
Индикатори потрошње ресурса			
PERE	A1-A3	9,26E+00	9,94E+00
MJ	B2	0,769	7,69E-01
Потрошња обновљиве енергије	Ц4	2,61E-01	2,61E-01
PERT	A1-A3	9,26E+00	9,94E+00
MJ	B2	0,769	7,69E-01
Укупна потрошња обновљивих извора енергије	Ц4	2,61E-01	2,61E-01
PENRE	A1-A3	1,44E+02	7,74E+01
MJ	B2	1,38	1,48E+00
Потрошња необновљиве енергије	Ц4	1,99E+00	1,99E+00
PENRT	A1-A3	1,44E+02	7,74E+01
MJ	B2	1,48	1,48E+00
Укупна потрошња необновљивих извора енергије	Ц4	1,99E+00	1,99E+00
SM	A1-A3	1,09E+00	6,41E+00
kg			
Унос секундарног материјала			
RSF	A1-A3	1,49E-11	0
MJ			
Потрошња обновљивих секундарних горива			
NRSF	A1-A3	1,75E-10	0
MJ			
Потрошња необновљивих секундарних горива			
FW	A1-A3	2,60E-02	1,78E-02
m ³	B2	0,008	7,61E-03
Потрошња чисте воде	Ц4	5,02E-04	5,02E-04
Излазни токови и категорије отпада			
HWD	A1-A3	2,50E-07	2,14E-07
kg	B2	8E-11	7,69E-11
Одлагање штетног отпада	Ц4	3,03E-08	3,03E-08
NHWD	A1-A3	2,98E-01	1,28E-02
kg	B2	0,006	6,47E-03
Одлагање неопасног отпада	Ц4	1,00E+01	1,00E+01
RWD	A1-A3	2,13E-03	5,16E-04
kg	B2	3E-06	2,84E-06
Одлагање радиоактивног отпада	Ц4	2,26E-05	2,26E-05

Табела 9.2.2 Упоредни приказ утицаја различитих дебљина стакла PLANICLEAR на животну средину

PLANICLEAR		4mm	6mm	8mm
Индикатори утицаја на животну средину				
GWP tot		1.114E+01	1.670E+01	2.227E+01
kg CO ₂ eq.	A1-A3	1.090E+01	1.635E+01	2.180E+01
Потенцијал глобалног загревања – укупно	Б2	9.500E-02	1.425E-01	1.900E-01
	Ц4	1.400E-01	2.100E-01	2.800E-01
GWP		1.093E+01	1.640E+01	2.187E+01
kg CO ₂ eq.	A1-A3	1.070E+01	1.605E+01	2.140E+01
Потенцијал глобалног загревања - фосилно	Б2	8.100E-02	1.215E-01	1.620E-01
	Ц4	1.520E-01	2.280E-01	3.040E-01
GWP		1.920E-01	2.880E-01	3.840E-01
kg CO ₂ eq.	A1-A3	1.920E-01	2.880E-01	3.840E-01
Потенцијал глобалног загревања - биогено	Б2	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
	Ц4	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
GWP		7.778E-02	1.167E-01	1.556E-01
kg CO ₂ eq.	A1-A3	4.340E-03	6.510E-03	8.680E-03
Потенцијал глобалног загревања - земљишта	Б2	7.300E-02	1.095E-01	1.460E-01
	Ц4	4.370E-04	6.555E-04	8.740E-04
ODP		6.820E-09	1.023E-08	1.364E-08
kg CFC-11 eq.	A1-A3	2.820E-09	4.230E-09	5.640E-09
Потенцијал оштећења озонског омотача	Б2	4.000E-09	6.000E-09	8.000E-09
	Ц4	5.620E-16	8.430E-16	1.124E-15
AP		5.979E-02	8.969E-02	1.196E-01
mol H ⁺ eq.	A1-A3	5.820E-02	8.730E-02	1.164E-01
Потенцијал ацидификације	Б2	5.000E-04	7.500E-04	1.000E-03
	Ц4	1.090E-03	1.635E-03	2.180E-03
EP		3.868E-05	5.802E-05	7.736E-05
kg P eq.	A1-A3	8.420E-06	1.263E-05	1.684E-05
Потенцијал Еутрофикације - слатка вода	Б2	3.000E-05	4.500E-05	6.000E-05
	Ц4	2.600E-07	3.900E-07	5.200E-07
EP		1.458E-02	2.187E-02	2.916E-02
kg N eq.	A1-A3	1.380E-02	2.070E-02	2.760E-02
Потенцијал Еутрофикације - слана вода	Б2	5.000E-04	7.500E-04	1.000E-03
	Ц4	2.800E-04	4.200E-04	5.600E-04
EP		1.761E-01	2.641E-01	3.522E-01
Mol N eq.	A1-A3	1.720E-01	2.580E-01	3.440E-01
Потенцијал Еутрофикације - земљиште	Б2	1.000E-03	1.500E-03	2.000E-03
	Ц4	3.080E-03	4.620E-03	6.160E-03
POCP		3.725E-02	5.587E-02	7.450E-02
kg NMVOC eq.	A1-A3	3.610E-02	5.415E-02	7.220E-02
Потенцијал формирања фото-хемијског озона, утицај на здравље људи	Б2	3.000E-04	4.500E-04	6.000E-04
	Ц4	8.480E-04	1.272E-03	1.696E-03
ADPE		3.893E-06	5.839E-06	7.785E-06
kg Sb eq.	A1-A3	8.790E-07	1.319E-06	1.758E-06
Потрошња ресурса - минералних	Б2	3.000E-06	4.500E-06	6.000E-06
	Ц4	1.360E-08	2.040E-08	2.720E-08
ADPF		1.474E+02	2.211E+02	2.947E+02
MJ	A1-A3	1.440E+02	2.160E+02	2.880E+02
Потрошња ресурса - фосилних	Б2	1.380E+00	2.070E+00	2.760E+00
	Ц4	1.990E+00	2.985E+00	3.980E+00

WU		1.247E+00	1.870E+00	2.494E+00
m ³	A1-A3	9.040E-01	1.356E+00	1.808E+00
Потрошња воде	Б2	3.270E-01	4.905E-01	6.540E-01
	Ц4	1.590E-02	2.385E-02	3.180E-02

Индикатори потрошње ресурса

PERE		1.03E+01	1.54E+01	2.06E+01
MJ	A1-A3	9.26E+00	1.389E+01	1.852E+01
Потрошња обновљиве енергије	Б2	7.69E-01	1.154E+00	1.538E+00
	Ц4	2.61E-01	3.915E-01	5.220E-01
PERT		1.03E+01	1.54E+01	2.06E+01
MJ	A1-A3	9.26E+00	1.389E+01	1.852E+01
Укупна потрошња обновљивих извора енергије	Б2	7.69E-01	1.154E+00	1.538E+00
	Ц4	2.61E-01	3.915E-01	5.220E-01
PENRE		1.47E+02	2.21E+02	2.95E+02
MJ	A1-A3	1.44E+02	2.160E+02	2.880E+02
Потрошња необновљиве енергије	Б2	1.38E+00	2.070E+00	2.760E+00
	Ц4	1.99E+00	2.985E+00	3.980E+00
PENRT		1.47E+02	2.21E+02	2.95E+02
MJ	A1-A3	1.44E+02	2.160E+02	2.880E+02
Укупна потрошња необновљивих извора енергије	Б2	1.48E+00	2.220E+00	2.960E+00
	Ц4	1.99E+00	2.985E+00	3.980E+00
SM		1.09E+00	1.64E+00	2.18E+00
kg	A1-A3	1.09E+00	1.635E+00	2.180E+00
Унос секундарног материјала				
RSF		1.49E-11	2.24E-11	2.98E-11
MJ	A1-A3	1.49E-11	2.235E-11	2.980E-11
Потрошња обновљивих секундарних горива				
NRSF		1.75E-10	2.63E-10	3.50E-10
MJ	A1-A3	1.75E-10	2.625E-10	3.500E-10
Потрошња необновљивих секундарних горива				
FW		3.45E-02	5.18E-02	6.90E-02
m ³	A1-A3	2.60E-02	3.900E-02	5.200E-02
Потрошња чисте воде	Б2	8.00E-03	1.200E-02	1.600E-02
	Ц4	5.02E-04	7.530E-04	1.004E-03

Излазни токови и категорије отпада

HWD		2.80E-07	4.21E-07	5.61E-07
kg	A1-A3	2.50E-07	3.750E-07	5.000E-07
Одлагање штетног отпада	Б2	8.00E-11	1.200E-10	1.600E-10
	Ц4	3.03E-08	4.545E-08	6.060E-08
NHWD		1.03E+01	1.55E+01	2.06E+01
kg	A1-A3	2.98E-01	4.470E-01	5.960E-01
Одлагање неопасног отпада	Б2	6.00E-03	9.000E-03	1.200E-02
	Ц4	1.00E+01	1.500E+01	2.000E+01
RWD		2.16E-03	3.23E-03	4.31E-03
kg	A1-A3	2.13E-03	3.195E-03	4.260E-03
Одлагање радиоактивног отпада	Б2	3.00E-06	4.500E-06	6.000E-06
	Ц4	2.26E-05	3.390E-05	4.520E-05

Табела 9.2.3 Упоредни приказ утицаја различитих дебљина стакла ORAÉ на животну средину

ORAÉ		4mm	6mm	8mm
Индикатори утицаја на животну средину				
GWP tot		6.224E+00	9.336E+00	1.245E+01
kg CO ₂ eq.	A1-A3	5.88E+00	8.820E+00	1.176E+01
Потенцијал глобалног загревања - укупно	B2	1.84E-01	2.760E-01	3.680E-01
	Ц4	1.60E-01	2.400E-01	3.200E-01
GWP		6.093E+00	9.139E+00	1.219E+01
kg CO ₂ eq.	A1-A3	5.86E+00	8.790E+00	1.172E+01
Потенцијал глобалног загревања - фосилно	B2	8.08E-02	1.212E-01	1.616E-01
	Ц4	1.52E-01	2.280E-01	3.040E-01
GWP		4.930E-02	7.395E-02	9.860E-02
kg CO ₂ eq.	A1-A3	1.08E-02	1.620E-02	2.160E-02
Потенцијал глобалног загревања - биогено	B2	3.05E-02	4.575E-02	6.100E-02
	Ц4	8.00E-03	1.200E-02	1.600E-02
GWP		7.667E-02	1.150E-01	1.533E-01
kg CO ₂ eq.	A1-A3	3.43E-03	5.145E-03	6.860E-03
Потенцијал глобалног загревања - земљишта	B2	7.28E-02	1.092E-01	1.456E-01
	Ц4	4.37E-04	6.555E-04	8.740E-04
ODP		9.090E-09	1.364E-08	1.818E-08
kg CFC-11 eq.	A1-A3	4.70E-09	7.050E-09	9.400E-09
Потенцијал оштећења озонског омотача	B2	4.39E-09	6.585E-09	8.780E-09
	Ц4	5.62E-16	8.430E-16	1.124E-15
AP		2.999E-02	4.498E-02	5.998E-02
mol H ⁺ eq.	A1-A3	2.84E-02	4.260E-02	5.680E-02
Потенцијал ацидификације	B2	4.99E-04	7.485E-04	9.980E-04
	Ц4	1.09E-03	1.635E-03	2.180E-03
EP		7.966E-05	1.195E-04	1.593E-04
kg P eq.	A1-A3	4.71E-05	7.065E-05	9.420E-05
Потенцијал Еутрофикације - слатка вода	B2	3.23E-05	4.845E-05	6.460E-05
	Ц4	2.60E-07	3.900E-07	5.200E-07
EP		7.083E-03	1.062E-02	1.417E-02
kg N eq.	A1-A3	6.27E-03	9.405E-03	1.254E-02
Потенцијал Еутрофикације - слана вода	B2	5.33E-04	7.995E-04	1.066E-03
	Ц4	2.80E-04	4.200E-04	5.600E-04
EP		7.246E-02	1.087E-01	1.449E-01
Mol N eq.	A1-A3	6.80E-02	1.020E-01	1.360E-01
Потенцијал Еутрофикације - земљиште	B2	1.38E-03	2.070E-03	2.760E-03
	Ц4	3.08E-03	4.620E-03	6.160E-03
POCP		1.887E-02	2.831E-02	3.774E-02
kg NMVOC eq.	A1-A3	1.77E-02	2.655E-02	3.540E-02
Потенцијал формирања фото- хемијског озона, утицај на здравље људи	B2	3.22E-04	4.830E-04	6.440E-04
	Ц4	8.48E-04	1.272E-03	1.696E-03
ADPE		3.654E-06	5.480E-06	7.307E-06
kg Sb eq.	A1-A3	1.09E-06	1.635E-06	2.180E-06
Потрошња ресурса - минералних	B2	2.55E-06	3.825E-06	5.100E-06
	Ц4	1.36E-08	2.040E-08	2.720E-08
ADPF		8.047E+01	1.207E+02	1.609E+02
MJ	A1-A3	7.71E+01	1.157E+02	1.542E+02
Потрошња ресурса - фосилних	B2	1.38E+00	2.070E+00	2.760E+00
	Ц4	1.99E+00	2.985E+00	3.980E+00


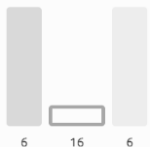
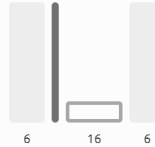
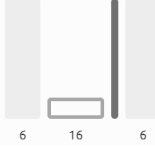
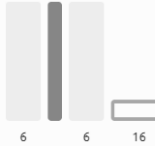
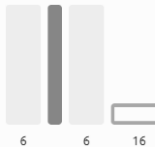
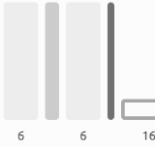

		1.633E+00	2.449E+00	3.266E+00
WU	A1-A3	1.29E+00	1.935E+00	2.580E+00
m ³	Б2	3.27E-01	4.905E-01	6.540E-01
Потрошња воде	Ц4	1.59E-02	2.385E-02	3.180E-02

Индикатори потрошње ресурса

PERE		1.10E+01	1.65E+01	2.19E+01
MJ	A1-A3	9.94E+00	1.491E+01	1.988E+01
Потрошња обновљиве енергије	Б2	7.69E-01	1.154E+00	1.538E+00
	Ц4	2.61E-01	3.915E-01	5.220E-01
PERT		1.10E+01	1.65E+01	2.19E+01
MJ	A1-A3	9.94E+00	1.491E+01	1.988E+01
Укупна потрошња обновљивих извора енергије	Б2	7.69E-01	1.154E+00	1.538E+00
	Ц4	2.61E-01	3.915E-01	5.220E-01
PENRE		8.09E+01	1.21E+02	1.62E+02
MJ	A1-A3	7.74E+01	1.161E+02	1.548E+02
Потрошња необновљиве енергије	Б2	1.48E+00	2.220E+00	2.960E+00
	Ц4	1.99E+00	2.985E+00	3.980E+00
PENRT		8.09E+01	1.21E+02	1.62E+02
MJ	A1-A3	7.74E+01	1.161E+02	1.548E+02
Укупна потрошња необновљивих извора енергије	Б2	1.48E+00	2.220E+00	2.960E+00
	Ц4	1.99E+00	2.985E+00	3.980E+00
SM		6.41E+00	9.62E+00	1.28E+01
kg	A1-A3	6.41E+00	9.615E+00	1.282E+01
Унос секундарног материјала				
RSF		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
MJ	A1-A3	0.00E+00	0.000E+00	0.000E+00
Потрошња обновљивих секундарних горива				
NRSF		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
MJ	A1-A3	0.00E+00	0.000E+00	0.000E+00
Потрошња необновљивих секундарних горива				
FW		2.59E-02	3.89E-02	5.18E-02
m ³	A1-A3	1.78E-02	2.670E-02	3.560E-02
Потрошња чисте воде	Б2	7.61E-03	1.142E-02	1.522E-02
	Ц4	5.02E-04	7.530E-04	1.004E-03


Излазни токови и категорије отпада

HWD		2.44E-07	3.67E-07	4.89E-07
kg	A1-A3	2.14E-07	3.210E-07	4.280E-07
Одлагање штетног отпада	Б2	7.69E-11	1.154E-10	1.538E-10
	Ц4	3.03E-08	4.545E-08	6.060E-08
NHWD		1.00E+01	1.50E+01	2.00E+01
kg	A1-A3	1.28E-02	1.920E-02	2.560E-02
Одлагање неопасног отпада	Б2	6.47E-03	9.705E-03	1.294E-02
	Ц4	1.00E+01	1.500E+01	2.000E+01
RWD		5.41E-04	8.12E-04	1.08E-03
kg	A1-A3	5.16E-04	7.740E-04	1.032E-03
Одлагање радиоактивног отпада	Б2	2.84E-06	4.260E-06	5.680E-06
	Ц4	2.26E-05	3.390E-05	4.520E-05

Конфигурација двоструког термоизолационог пакета	Дебљина пакета (mm)	Тежина (kg/m ²)	Пролаз дневне светлости (%)	Рефлексија дневне светлости (%)	Соларни фактор g - вредност (%)	Топлотна проводљивост U - вредност (W/m ² *K)	Акустика (dB)	GWP A1-A3 (kg CO ₂ eq./m ²)	GWP A1-A3 (kg CO ₂ eq./m ²)
	Стандардни пакет (стакло 6mm + аргон 16mm + стакло 6mm)							<i>PLANICLEAR</i>	<i>ORAÉ</i>
	28.0	30	81.5	14.8	0.78	2.598	33	44.2	26.9
	Пакет са топлотно ојачаним стаклом (Heat Strengthened Glass) (стакло 6mm + аргон 16mm + стакло 6mm)								
	28.0	30	81.5	14.8	0.78	2.598	33	51.82	34.5
	Пакет нискоемисионим премазом #2 (стакло 6mm + премаз + аргон 16mm + стакло 6mm)								
	<i>COOL-LITE SKN 154</i>								
	28.0	30	51.7	19	0.28	1.038	33	45.5	28.2
	<i>COOL-LITE SKN 176</i>								
	28.0	30	69.9	13	0.37	1.038	33	45.5	28.2
	<i>COOL-LITE SKN 183</i>								
	28.0	30	74.1	12	0.402	1.038	33	45.5	28.2
	<i>COOL-LITE XTREME 61-29</i>								
	28.0	30	60.6	11	0.29	1.038	33	45.5	28.2
	<i>COOL-LITE XTREME 70-33</i>								
	28.0	30	69.5	11.1	0.328	1.038	33	45.5	28.2
	Пакет са нискоемисионим премазом #3 ECLAZ ONE (стакло 6mm + аргон 16mm + премаз + стакло 6mm)								
	28.0	30	78.7	14.6	0.574	1.038	33	45.5	28.2
	Пакет са ламинираним стаклом и стандардном PVB фолијом (стакло 6mm + 2PVB Standard 0.76mm + стакло 6mm + аргон 16mm + стакло 6mm)								
	34.76	45.8	79.9	14.4	0.685	2.533	41	69.8	43.8
	Пакет са ламинираним стаклом и акустичном PVB фолијом (стакло 6mm + 2PVB Silence 0.76mm + стакло 6mm + аргон 16mm + стакло 6mm)								
	34.76	45.8	79.9	14.4	0.685	2.533	41	69.8	43.8
	Пакет са ламинираним стаклом, акустичном PVB фолијом и нискоемисионим премазом #4 (стакло 6mm + 2PVB Silence 0.76mm + стакло 6mm + премаз + аргон 16mm + стакло 6mm)								
	<i>COOL-LITE SKN 154</i>								
	34.76	45.8	51	18	0.26	1.027	41	71.1	45.1
	<i>COOL-LITE SKN 176</i>								
	34.76	45.8	68	13	0.35	1.027	41	71.1	45.1
	<i>COOL-LITE SKN 183</i>								
	34.76	45.8	73	12	0.38	1.027	41	71.1	45.1
	<i>COOL-LITE XTREME 61-29</i>								
	34.76	45.8	59	11	0.28	1.027	41	71.1	45.1
	<i>COOL-LITE XTREME 70-33</i>								
	34.76	45.8	68	11	0.31	1.027	41	71.1	45.1
	Пакет са ламинираним стаклом, акустичном PVB фолијом и нискоемисионим премазом #4 #5 (стакло 6mm + 2PVB Silence 0.76mm + стакло 6mm + премаз + аргон 16mm + стакло 6mm)								
	<i>COOL-LITE SKN 176 #4 + ECLAZ #5</i>								
	34.76	45.8	68.9	10.3	0.355	1.018	41	72.3	46.3
	<i>COOL-LITE XTREME 70-33 #4 + ECLAZ #5</i>								
	34.76	45.8	68.9	8.5	0.32	1.018	41	72.3	46.3

ПРИЛОГ 3. Анализа утицаја фасадних система на животну средину у односу на димензије фасадних поља и количину уграђених материјала

Табела 9.3.1. Карактеристике фасадних омотача основних модела А и В

Фасадни систем	МОДЕЛ А AF UDC 80 SG	МОДЕЛ В AF UDC 80.SI/HI
		
Перформансе		
Топлотна изолација рама (Uf)	0,73 W/m ² K	0,89-1,4 W/m ² K
Водонепропусност	RE 1650	RE 1650
Непропусност ваздуха	AE 1200	AE 1200
Отпорност на оптерећење ветром	2.5/3.75 [kN/m ²]	2.5/3.75 [kN/m ²]
Отпорност на ударце	I5/E5	I5/E5
Максимална звучна изолација	50 dB(A)	50 dB(A)
Максималне димензије и тежина поља		
Максимална висина елемента	4000 mm	4000 mm
Максимална ширина елемента	3000 mm	3000 mm
Максимална тежина	1000 kg	1000 kg
Димензије алуминијумских профила		
Минимална дубина профила	139 mm	130 mm
Максимална дубина профила	264 mm	255 mm
Видна ширина профила - унутра	80 mm	80 mm
Видна ширина профила - споља	/	80 mm
Застакљивање		
Минимална дебљина стакла	22 mm	22 mm
Максимална дебљина стакла	70 mm	70 mm
Максимална тежина стакла	781 kg	1000 kg
Сертификат		
	/	Од колевке до колевке - Бронза



Подаци релевантни за МОДЕЛ А, Фасадни систем AF UDC 80 SG

Димензије фасадног поља 1,25m x 3,00m

ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION
in accordance with ISO 14025 and EN 15954

Client of the Declaration: Schüco International KG
 Programme builder: Institut Bauein und Umwelt e.V. (IBU)
 Declaration number: EPD 20232-202306-2023090504354-EN-System
 Issue date: 04.09.2023
 Valid to: 04.09.2028

Schüco AF UDC 80 SG W x H: 1240 mm x 2990 mm
 for project: Doktorarbeit - Item: AF UDC 80 SG 1.25x3.0
 Schüco International KG



www.epd.com/ <https://epdcloud.eu>



1. General Information

Schüco International KG
 Programme builder
 IBU - Institut Bauein und Umwelt e.V.
 Hauptstadt 1
 10717 Berlin
 Germany
 Declaration number
 EPD 20232-202306-2023090504354-EN-System

Schüco AF UDC 80 SG
 Owner of the Declaration
 Schüco International KG
 Karlsruherstr. 115
 70802 Heilbronn
 Germany
 Declared product / Declared unit
 Schüco AF UDC 80 SG W x H: 1240 mm x 2990 mm
 Description

Scope
 This environmental product declaration relates to a facade of type Schüco AF UDC 80 SG with specific dimensions of width x height. The key values used for the system components are based on the EPD 20232-202306-2023090504354-EN-System. The production related to the facade manufacturer's location. The facade manufacturer is responsible for the specification described in the EPD and the manufacture of the window. The owner of the declaration is liable for the information and evidence used as a basis, the IBU cannot be held liable for manufacturer information, lifecycle assessment data and evidence.

Verification
 CEN standard EN 15954 series as the core PCR independent verification of the declaration and data according to ISO 14025

Internally Externally

Dr. Ingrid Wöhrer
 Managing Director of Institut Bauein und Umwelt e.V.

Dr. Ingrid Wöhrer
 Managing Director

5. LCA: Results

In the following section, the results of the indicators of the assessment of the effect, the use of resources and also waste and other output streams are displayed in reference to a single facade of type Schüco AF UDC 80 SG in specific dimensions of 1240 mm x 2990 mm. See chapter 3.1 for the conversion.

PRODUCT STAGE	CONSTRUCTION PHASE								USE STAGE	END OF LIFE STAGE	BENEFITS AND LOADS FROM THE SYSTEM BOUNDARY			
	Transport	Manufacturing	Assembly	Use	Repair	Disassembly	Recycling	Waste						
A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4	B5	MF	C1	C2	C3	C4	D
X	X	X	X	MND	MND	MND	MND	MND	X	MND	MND	X	X	X

RESULTS OF THE LCA - ENVIRONMENTAL IMPACT:
 Schüco AF UDC 80 SG W x H: 1240 mm x 2990 mm

Parameter	Unit	A1+A2	A4	B5	C3	C4	D
GWP	[kg CO ₂ -Eq.]	370.39	0.00	0.00	14.44	1.482.2	-151.75
ADP	[kg CO ₂ -Eq.]	6.955.6	0.00	0.00	2.257.65	2.258.17	-1.414.0
AP	[kg PO ₄ -Eq.]	1.14	0.00	0.00	2.768.13	4.848.5	-3.581.1
EP	[kg PO ₄ -Eq.]	2.025.1	0.00	0.00	4.986.4	1.076.4	-2.985.2
POCP	[kg Emission]	1.585.1	0.00	0.00	1.956.4	7.958.9	-2.985.2
ADPF	[kg In Eq.]	1.402.4	0.00	0.00	2.828.3	1.938.9	-2.978.9
ADPF	[kg]	4602.0	0.00	0.00	2.97	31.61	-1096.36

RESULTS OF THE LCA - RESOURCE USE:
 Schüco AF UDC 80 SG W x H: 1240 mm x 2990 mm

Parameter	Unit	A1+A2	A4	B5	C3	C4	D
FEISE	[MJ]	1159.69	0.00	0.00	5.195.1	2.625.2	-21.59
PERM	[MJ]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.00
PERST	[MJ]	1159.69	0.00	0.00	5.195.1	2.625.2	-21.59
PERRE	[MJ]	6028.38	0.00	0.00	248.50	3.785.1	-1559.28
PERRM	[MJ]	246.12	0.00	0.00	248.50	0.00	0.00
PERST	[MJ]	6028.38	0.00	0.00	3.02	3.785.1	-1559.28
FM	[kg]	50.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MRSP	[MJ]	1.295.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MRSP	[MJ]	6.176.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FW	[l]	2.07	0.00	0.00	2.06	7.46	1.22

Caution:
 GWP = Global warming potential; ADP = Abiotic depletion potential of the abiotic resources; AP = Acidification potential of land and water; EP = Eutrophication potential; POCP = Formation potential of photochemical oxidants; ADPF = Abiotic depletion potential for non fossil resources; ADPF = Abiotic depletion potential for fossil resources.

RESULTS OF THE LCA - RESOURCE USE:
 Schüco AF UDC 80 W x H: 1240 mm x 2990 mm

Parameter	Unit	A1+A2	A4	B5	C3	C4	D
FEISE	[MJ]	1159.27	0.00	0.00	5.195.1	5.195.3	-685.97
PERM	[MJ]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.00
PERST	[MJ]	693.25	0.00	0.00	5.688.1	4.188.2	-888.38
PERRE	[MJ]	5812.11	0.00	0.00	207.43	3.326.1	-1977.16
PERRM	[MJ]	203.14	0.00	0.00	203.94	0.00	0.00
PERST	[MJ]	6943.43	0.00	0.00	4.08	3.326.1	-1777.16
FM	[kg]	52.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MRSP	[MJ]	1.295.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MRSP	[MJ]	6.176.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FW	[l]	2.07	0.00	0.00	2.06	2.916.1	4.07

Caution:
 FEISE = Renewable primary energy as energy carrier; PERM = Renewable primary energy resources as material utilization; PERST = Total use of renewable primary energy resources; PERRE = Non-renewable primary energy as energy carrier; PERRM = Non-renewable primary energy as material utilization; PERST = Total use of non-renewable primary energy resources; FM = Use of freshwater resources; MRSP = Use of renewable secondary fuels; FW = Use of non-renewable secondary fuels; FW = Use of non-renewable secondary fuels.

Подаци релевантни за МОДЕЛ В, Фасадни систем AF UDC 80.HI

Димензије фасадног поља 1,25m x 3,00m

ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION
in accordance with ISO 14025 and EN 15954

Client of the Declaration: Schüco International KG
 Programme builder: Institut Bauein und Umwelt e.V. (IBU)
 Declaration number: EPD 20232-202306-2023090504354-EN-System
 Issue date: 05.05.2023
 Valid to: 05.05.2028

Schüco AF UDC 80 W x H: 1240 mm x 2990 mm
 for project: Doktorarbeit - Item: AF UDC 80 HI 1.25x3.0
 Schüco International KG



www.epd.com/ <https://epdcloud.eu>



1. General Information

Schüco International KG
 Programme builder
 IBU - Institut Bauein und Umwelt e.V.
 Hauptstadt 1
 10717 Berlin
 Germany
 Declaration number
 EPD 20232-202306-2023090504354-EN-System

Schüco AF UDC 80
 Owner of the Declaration
 Schüco International KG
 Karlsruherstr. 115
 70802 Heilbronn
 Germany
 Declared product / Declared unit
 Schüco AF UDC 80 W x H: 1240 mm x 2990 mm
 Description

Scope
 This environmental product declaration relates to a facade of type Schüco AF UDC 80 HI with specific dimensions of width x height. The key values used for the system components are based on the EPD 20232-202306-2023090504354-EN-System. The production related to the facade manufacturer's location. The facade manufacturer is responsible for the specification described in the EPD and the manufacture of the window. The owner of the declaration is liable for the information and evidence used as a basis, the IBU cannot be held liable for manufacturer information, lifecycle assessment data and evidence.

Verification
 CEN standard EN 15954 series as the core PCR independent verification of the declaration and data according to ISO 14025

Internally Externally

Dr. Ingrid Wöhrer
 Managing Director of Institut Bauein und Umwelt e.V.

Dr. Ingrid Wöhrer
 Managing Director

5. LCA: Results

In the following section, the results of the indicators of the assessment of the effect, the use of resources and also waste and other output streams are displayed in reference to a single facade of type Schüco AF UDC 80 HI in specific dimensions of 1240 mm x 2990 mm. See chapter 3.1 for the conversion.

PRODUCT STAGE	CONSTRUCTION PHASE								USE STAGE	END OF LIFE STAGE	BENEFITS AND LOADS FROM THE SYSTEM BOUNDARY			
	Transport	Manufacturing	Assembly	Use	Repair	Disassembly	Recycling	Waste						
A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4	B5	MF	C1	C2	C3	C4	D
X	X	X	X	MND	MND	MND	MND	MND	X	MND	MND	X	X	X

RESULTS OF THE LCA - ENVIRONMENTAL IMPACT:
 Schüco AF UDC 80 W x H: 1240 mm x 2990 mm

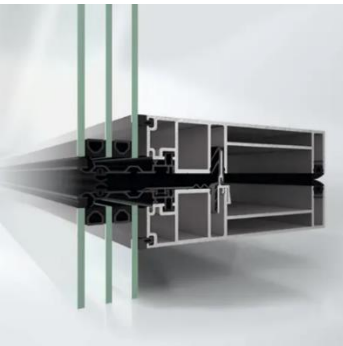
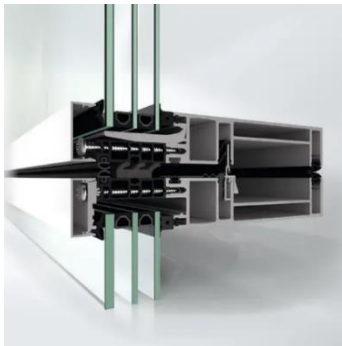
Parameter	Unit	A1+A2	A4	B5	C3	C4	D
GWP	[kg CO ₂ -Eq.]	431.01	0.00	0.00	13.38	2.888.2	-151.83
ADP	[kg CO ₂ -Eq.]	2.484.9	0.00	0.00	2.138.81	1.488.19	-1.744.0
AP	[kg PO ₄ -Eq.]	1.21	0.00	0.00	2.715.13	1.938.9	-3.816.1
EP	[kg PO ₄ -Eq.]	2.186.1	0.00	0.00	4.982.3	1.076.4	-2.416.2
POCP	[kg Emission]	1.446.1	0.00	0.00	1.938.4	7.958.9	-2.416.2
ADPF	[kg In Eq.]	1.876.4	0.00	0.00	3.458.4	2.734.9	-3.788.8
ADPF	[kg]	6021.13	0.00	0.00	2.99	3.068.1	-121.86

RESULTS OF THE LCA - RESOURCE USE:
 Schüco AF UDC 80 W x H: 1240 mm x 2990 mm

Parameter	Unit	A1+A2	A4	B5	C3	C4	D
FEISE	[MJ]	1159.27	0.00	0.00	5.195.1	5.195.3	-685.97
PERM	[MJ]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.00
PERST	[MJ]	693.25	0.00	0.00	5.688.1	4.188.2	-888.38
PERRE	[MJ]	5812.11	0.00	0.00	207.43	3.326.1	-1977.16
PERRM	[MJ]	203.14	0.00	0.00	203.94	0.00	0.00
PERST	[MJ]	6943.43	0.00	0.00	4.08	3.326.1	-1777.16
FM	[kg]	52.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MRSP	[MJ]	1.295.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MRSP	[MJ]	6.176.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FW	[l]	2.07	0.00	0.00	2.06	2.916.1	4.07

Caution:
 FEISE = Renewable primary energy as energy carrier; PERM = Renewable primary energy resources as material utilization; PERST = Total use of renewable primary energy resources; PERRE = Non-renewable primary energy as energy carrier; PERRM = Non-renewable primary energy as material utilization; PERST = Total use of non-renewable primary energy resources; FM = Use of freshwater resources; MRSP = Use of renewable secondary fuels; FW = Use of non-renewable secondary fuels; FW = Use of non-renewable secondary fuels.

Табела 9.3.2. Упоредни приказ утицаји на животну средину фасадног поља димензија 1,25x3m фасадних система AF UDC 80 SG и AF UDC 80.HI

Фасадни систем	ОСНОВНИ МОДЕЛ А AF UDC 80 SG	ОСНОВНИ МОДЕЛ Б AF UDC 80.HI	
			
Фиксно транспарентно поље			
Висина		3000 mm	
Ширина		1250 mm	
Тип стакла		Троструко изолована стаклена јединица	
Укупна тежина	160,32 kg	162,6 kg	
Алуминијум	27,33 kg	32,47 kg	
EPDM	4,01 kg	3,47 kg	
РА 66	0 kg	2,58 kg	
Acrylnitril/Styrol/Acrylester	1,82 kg	0 kg	
Стаклена јединица	127,11 kg	123,31 kg	
Индикатори утицаја на животну средину			
GWP tot	A1-A3	376,39	431,01
kg CO ₂ eq.	Ц3	14,44	13,38
Потенцијал глобалног загревања - укупно	Ц4	1,49E-2	2,68E-2
	Д	-103,75	-120,93
ODP	A1-A3	6,55E-9	2,69E-9
kg CFC-11 eq.	Ц3	2,20E-15	2,52E-15
Потенцијал оштећења озонског омотача	Ц4	8,20E-17	1,48E-16
	Д	-1,47E-9	-1,74E-9
AP	A1-A3	1,14	1,26
mol H ⁺ eq.	Ц3	2,70E-3	5,71E-3
Потенцијал ацидификације	Ц4	9,48E-5	1,70E-4
	Д	-3,36E-1	-3,97E-1
EP tot	A1-A3	2,02E-1	2,16E-1
kg (PO ₄) ₃ -eq.	Ц3	6,69E-4	1,46E-3
Потенцијал Еутрофикације - укупно	Ц4	1,07E-5	1,92E-5
	Д	-2,06E-2	-2,41E-2
POCP	A1-A3	1,38E-1	1,45E-1
kg Ethen eq.	Ц3	1,93E-4	3,63E-4
Потенцијал формирања фотохемијског озона, утицај на здравље људи	Ц4	7,19E-6	1,29E-5
	Д	-2,05E-2	-2,41E-2
ADPE	A1-A3	1,40E-4	1,57E-4
kg Sb eq.	Ц3	2,82E-8	3,45E-8
Потрошња ресурса - минералних	Ц4	1,50E-9	2,71E-9
	Д	-2,97E-5	-3,78E-5
ADPF	A1-A3	4645,00	5287,16
MJ	Ц3	2,67	3,69
Потрошња ресурса - фосилних	Ц4	2,11E-1	3,80E-1
	Д	-1098,39	-1271,99

Индикатори потрошње ресурса			
PERE	A1-A3	1139,86	1379,25
MJ	Ц3	5,19E-1	5,86E-1
Потрошња обновљиве енергије	Ц4	2,85E-2	5,13E-2
	Д	-711,59	-836,36
PERT	A1-A3	1139,86	1379,25
MJ	Ц3	5,19E-1	5,86E-1
Укупна потрошња обновљивих извора енергије	Ц4	2,85E-2	5,13E-2
	Д	-711,59	-836,36
PENRE	A1-A3	5028,36	5812,11
MJ	Ц3	248,35	237,43
Потрошња необновљиве енергије	Ц4	2,18E-1	3,92E-1
	Д	-1530,28	-1777,19
PENRM	A1-A3	245,32	233,34
MJ	Ц3	-245,32	-233,34
Необновљиви ресурси искоришћени као сировине			
PENRT	A1-A3	5273,68	6045,45
MJ	Ц3	3,03	4,08
Укупна потрошња необновљивих извора енергије	Ц4	2,18E-1	3,92E-1
	Д	-1530,28	-1777,19
SM	A1-A3	10,54	12,56
kg			
Унос секундарног материјала			
RSF	A1-A3	5,25E-25	5,25E-25
MJ			
Потрошња обновљивих секундарних горива			
NRSF	A1-A3	6,17E-24	6,17E-24
MJ			
Потрошња необновљивих секундарних горива			
FW	A1-A3	2,01	2,50
m³	Ц3	3,29E-2	3,08E-2
Потрошња чисте воде	Ц4	5,49E-5	9,87E-5
	Д	-1,22	-1,45
Изразни токови и категорије отпада			
HWD	A1-A3	3,90E-5	1,44E-5
kg	Ц3	5,99E-9	9,26E-9
Одлагање штетног отпада	Ц4	3,32E-9	5,97E-9
	Д	-9,48E-7	-1,12E-6
NHWD	A1-A3	47,52	55,90
kg	Ц3	4,42E-1	6,72E-1
Одлагање неопасног отпада	Ц4	1,09	1,97
	Д	-29,57	-35,11
RWD	A1-A3	2,48E-1	2,99E-1
kg	Ц3	1,44E-4	1,55E-4
Одлагање радиоактивног отпада	Ц4	2,47E-6	4,46E-6
	Д	-1,70E-1	-1,99E-1
MFR	Д	153,36	154,55
kg			
Материјали за рециклажу			
EEE	Ц3	27,54	22,38
MJ			
Извезена електрична енергија			
EET	Ц3	49,64	40,21
MJ			
Извезена термална енергија			

Подаци релевантни за МОДЕЛ А, Фасадни систем AF UDC 80 SG

Димензије фасадног поља 1,25m x 3,00m

ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION
in accordance with ISO 14025 and EN 15804

Name of the Declaration: Schüco International KG
 Programme holder: Institut Baustoff und Umwelt e.V. (IBU)
 Address: Institut Baustoff und Umwelt e.V. (IBU)
 Declaration number: EPD 2023-202308-2023090504354-EN-System
 Issue date: 05.09.2023
 Valid to: 04.09.2025

Schüco AF UDC 80 SG W x H: 1240 mm x 2990 mm
for project: Doktorarbeit - Item: AF UDC 80 SG 1.25x3.0
Schüco International KG



www.epd.com | https://epd.com.de



1. General Information

Schüco International KG
 Programme holder: Institut Baustoff und Umwelt e.V. (IBU)
 Address: Institut Baustoff und Umwelt e.V. (IBU)
 Declaration number: EPD 2023-202308-2023090504354-EN-System

Schüco AF UDC 80 SG
 Owner of the Declaration: Schüco International KG
 Address: Institut Baustoff und Umwelt e.V. (IBU)
 Declaration number: EPD 2023-202308-2023090504354-EN-System

This declaration is based on the Product Category Rules:
 PCR version valid: 11/2018
 PCR tested and approved by the independent advisory board (IBU)

Issue date: 05.09.2023
 Valid to: 04.09.2025

This document is an Environmental Product Declaration which has been translated from German to English. It is based on the German original EPD. The verifier has no influence on the quality of the translation.

Verification: CEN standard EN 15804 serves as the core PCR. Independent verification of the declaration and data according to ISO 14025

Internally Externally

Dr. rer. oec. Inga Heide, Head of Institute Baustoff und Umwelt e.V.
 Dr. rer. oec. Inga Heide, Head of Institute Baustoff und Umwelt e.V.
 Dr. rer. oec. Inga Heide, Head of Institute Baustoff und Umwelt e.V.

5. LCA: Results

In the following section, the results of the indicators of the assessment of the effect, the use of resources and also waste and other output streams are displayed in reference to a single facade of type Schüco AF UDC 80 SG in specific dimensions of 1240 mm x 2990 mm. See chapter 3.1 for the conversion.

DESCRIPTION OF THE SYSTEM BOUNDARY (X= INCLUDED IN LCA, M= MODULE NOT DECLARED)

PRODUCT STAGE	CONSTRUCT ON PROCESS STAGE	USE STAGE	END OF LIFE STAGE	BENEFITS AND LOADS FROM THE SYSTEM BOUNDARY
AI	A1	A1	B1	C1
X	X	X	M	X

RESULTS OF THE LCA - ENVIRONMENTAL IMPACT
Schüco AF UDC 80 SG W x H: 1240 mm x 2990 mm

Parameter	Unit	A1/A3	A4	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
GWP	kg CO ₂ -Eq.	370.39	0.00	0.00	14.44	1.482	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EP	kg PO ₄ -Eq.	6.852	0.00	0.00	2.267	0.267	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AP	kg SO ₂ -Eq.	1.14	0.00	0.00	1.705	1.482	-	-	-	-	-	-	-	-	-
POCP	kg Ethen-Eq.	2.221	0.00	0.00	4.962	1.076	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ADPE	kg In-Eq.	1.424	0.00	0.00	1.954	1.582	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ACDP	MJ	460.00	0.00	0.00	2.91	31.61	-	-	-	-	-	-	-	-	-

GWP = Global warming potential; EP = Eutrophication potential; POCP = Potential of photochemical oxidants; ADPE = Abiotic depletion potential for non fossil resources; ACDP = Abiotic depletion potential for fossil resources.

RESULTS OF THE LCA - RESOURCE USE
Schüco AF UDC 80 SG W x H: 1240 mm x 2990 mm

Parameter	Unit	A1/A3	A4	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
PERE	MJ	1150.90	0.00	0.00	1.195	1.252	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PERM	MJ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PERF	MJ	1150.90	0.00	0.00	1.195	1.252	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PERNR	MJ	6028.39	0.00	0.00	248.30	2.181	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PERNM	MJ	246.10	0.00	0.00	248.30	2.181	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PERNT	MJ	5217.89	0.00	0.00	3.92	2.181	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DM	kg	1.54	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MSF	MJ	1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MSFP	MJ	6.176	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PW	l	2.27	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-

PERE = Renewable primary energy as energy carrier; PERM = Renewable primary energy resources as material utilization; PERF = Total use of renewable primary energy resources; PERNR = Total use of non-renewable primary energy as energy carrier; PERNM = Non-renewable primary energy as material utilization; PERNT = Total use of non-renewable primary energy resources; DM = Use of secondary material; MSF = Use of non-renewable secondary fuels; MSFP = Use of non-renewable secondary fuels; PW = Use of fresh water.

Димензије фасадног поља 1,50m x 3,00m

ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION
in accordance with ISO 14025 and EN 15804

Name of the Declaration: Schüco International KG
 Programme holder: Institut Baustoff und Umwelt e.V. (IBU)
 Address: Institut Baustoff und Umwelt e.V. (IBU)
 Declaration number: EPD 2023-202308-2023090504431-EN-System
 Issue date: 05.09.2023
 Valid to: 04.09.2025

Schüco AF UDC 80 SG W x H: 1490 mm x 2990 mm
for project: Doktorarbeit - Item: AF UDC 80 SG 1.50x3.0
Schüco International KG



www.epd.com | https://epd.com.de



1. General Information

Schüco International KG
 Programme holder: Institut Baustoff und Umwelt e.V. (IBU)
 Address: Institut Baustoff und Umwelt e.V. (IBU)
 Declaration number: EPD 2023-202308-2023090504431-EN-System

Schüco AF UDC 80 SG
 Owner of the Declaration: Schüco International KG
 Address: Institut Baustoff und Umwelt e.V. (IBU)
 Declaration number: EPD 2023-202308-2023090504431-EN-System

This declaration is based on the Product Category Rules:
 PCR version valid: 11/2018
 PCR tested and approved by the independent advisory board (IBU)

Issue date: 05.09.2023
 Valid to: 04.09.2025

This document is an Environmental Product Declaration which has been translated from German to English. It is based on the German original EPD. The verifier has no influence on the quality of the translation.

Verification: CEN standard EN 15804 serves as the core PCR. Independent verification of the declaration and data according to ISO 14025

Internally Externally

Dr. rer. oec. Inga Heide, Head of Institute Baustoff und Umwelt e.V.
 Dr. rer. oec. Inga Heide, Head of Institute Baustoff und Umwelt e.V.
 Dr. rer. oec. Inga Heide, Head of Institute Baustoff und Umwelt e.V.

5. LCA: Results

In the following section, the results of the indicators of the assessment of the effect, the use of resources and also waste and other output streams are displayed in reference to a single facade of type Schüco AF UDC 80 SG in specific dimensions of 1490 mm x 2990 mm. See chapter 3.1 for the conversion.

DESCRIPTION OF THE SYSTEM BOUNDARY (X= INCLUDED IN LCA, M= MODULE NOT DECLARED)

PRODUCT STAGE	CONSTRUCT ON PROCESS STAGE	USE STAGE	END OF LIFE STAGE	BENEFITS AND LOADS FROM THE BOUNDARY
AI	A1	A1	B1	C1
X	X	X	M	X

RESULTS OF THE LCA - ENVIRONMENTAL IMPACT
Schüco AF UDC 80 SG W x H: 1490 mm x 2990 mm

Parameter	Unit	A1/A3	A4	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
GWP	kg CO ₂ -Eq.	430.90	0.00	0.00	18.20	1.972	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EP	kg PO ₄ -Eq.	8.464	0.00	0.00	2.936	0.342	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AP	kg SO ₂ -Eq.	1.31	0.00	0.00	2.071	1.894	-	-	-	-	-	-	-	-	-
POCP	kg Ethen-Eq.	2.381	0.00	0.00	5.264	1.154	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ADPE	kg In-Eq.	1.614	0.00	0.00	2.094	1.682	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ACDP	MJ	1.624	0.00	0.00	1.981	1.981	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ACDP	MJ	526.90	0.00	0.00	2.93	2.291	-	-	-	-	-	-	-	-	-

GWP = Global warming potential; EP = Eutrophication potential; POCP = Potential of photochemical oxidants; ADPE = Abiotic depletion potential for non fossil resources; ACDP = Abiotic depletion potential for fossil resources.

RESULTS OF THE LCA - RESOURCE USE
Schüco AF UDC 80 SG W x H: 1490 mm x 2990 mm

Parameter	Unit	A1/A3	A4	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
PERE	MJ	1240.90	0.00	0.00	1.406	1.372	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PERM	MJ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PERF	MJ	1240.90	0.00	0.00	1.406	1.372	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PERNR	MJ	5926.90	0.00	0.00	242.40	2.181	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PERNM	MJ	262.39	0.00	0.00	242.40	2.181	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PERNT	MJ	5926.90	0.00	0.00	3.92	2.181	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DM	kg	1.14	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MSF	MJ	1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MSFP	MJ	6.176	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PW	l	2.27	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-

PERE = Renewable primary energy as energy carrier; PERM = Renewable primary energy resources as material utilization; PERF = Total use of renewable primary energy resources; PERNR = Total use of non-renewable primary energy as energy carrier; PERNM = Non-renewable primary energy as material utilization; PERNT = Total use of non-renewable primary energy resources; DM = Use of secondary material; MSF = Use of non-renewable secondary fuels; MSFP = Use of non-renewable secondary fuels; PW = Use of fresh water.

Димензије фасадног поља 1,875m x 3,00m

ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION
in accordance with ISO 14025 and EN 15804

Name of the Declaration: Schüco International KG
 Programme holder: Institut Baustoff und Umwelt e.V. (IBU)
 Address: Institut Baustoff und Umwelt e.V. (IBU)
 Declaration number: EPD 2023-202308-2023090504474-EN-System
 Issue date: 05.09.2023
 Valid to: 04.09.2025

Schüco AF UDC 80 SG W x H: 1875 mm x 2990 mm
for project: Doktorarbeit - Item: AF UDC 80 SG 1.875x3.0
Schüco International KG



www.epd.com | https://epd.com.de



1. General Information

Schüco International KG
 Programme holder: Institut Baustoff und Umwelt e.V. (IBU)
 Address: Institut Baustoff und Umwelt e.V. (IBU)
 Declaration number: EPD 2023-202308-2023090504474-EN-System

Schüco AF UDC 80 SG
 Owner of the Declaration: Schüco International KG
 Address: Institut Baustoff und Umwelt e.V. (IBU)
 Declaration number: EPD 2023-202308-2023090504474-EN-System

This declaration is based on the Product Category Rules:
 PCR version valid: 11/2018
 PCR tested and approved by the independent advisory board (IBU)

Issue date: 05.09.2023
 Valid to: 04.09.2025

This document is an Environmental Product Declaration which has been translated from German to English. It is based on the German original EPD. The verifier has no influence on the quality of the translation.

Verification: CEN standard EN 15804 serves as the core PCR. Independent verification of the declaration and data according to ISO 14025

Internally Externally

Dr. rer. oec. Inga Heide, Head of Institute Baustoff und Umwelt e.V.
 Dr. rer. oec. Inga Heide, Head of Institute Baustoff und Umwelt e.V.
 Dr. rer. oec. Inga Heide, Head of Institute Baustoff und Umwelt e.V.

5. LCA: Results

In the following section, the results of the indicators of the assessment of the effect, the use of resources and also waste and other output streams are displayed in reference to a single facade of type Schüco AF UDC 80 SG in specific dimensions of 1875 mm x 2990 mm. See chapter 3.1 for the conversion.

DESCRIPTION OF THE SYSTEM BOUNDARY (X= INCLUDED IN LCA, M= MODULE NOT DECLARED)

PRODUCT STAGE	CONSTRUCT ON PROCESS STAGE	USE STAGE	END OF LIFE STAGE	BENEFITS AND LOADS FROM THE BOUNDARY
AI	A1	A1	B1	C1
X	X	X	M	X

RESULTS OF THE LCA - ENVIRONMENTAL IMPACT
Schüco AF UDC 80 SG W x H: 1875 mm x 2990 mm

Parameter	Unit	A1/A3	A4	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
GWP	kg CO ₂ -Eq.	610.7	0.00	0.00	18.40	1.972	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EP	kg PO ₄ -Eq.	7.58	0.00	0.00	2.936	0.342	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AP	kg SO ₂ -Eq.	1.67	0.00	0.00	2.071	1.894	-	-	-	-	-	-	-	-	-
POCP	kg Ethen-Eq.	1.911	0.00	0.00	5.264	1.154	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ADPE	kg In-Eq.	1.484	0.00	0.00	2.094	1.682	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ACDP	MJ	424.91	0.00	0.00	1.981	1.981	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ACDP	MJ	1404.91	0.00	0.00	2.93	2.291	-	-	-	-	-	-	-	-	-

GWP = Global warming potential; EP = Eutrophication potential; POCP = Potential of photochemical oxidants; ADPE = Abiotic depletion potential for non fossil resources; ACDP = Abiotic depletion potential for fossil resources.

RESULTS OF THE LCA - RESOURCE USE
Schüco AF UDC 80 SG W x H: 1875 mm x 2990 mm

Parameter	Unit	A1/A3	A4	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
PERE	MJ	1377.89	0.00	0.00	1.406	1.372	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PERM	MJ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PERF	MJ	1377.89	0.00	0.00	1.406	1.372	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PERNR	MJ	5926.90	0.00	0.00	242.40	2.181	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PERNM	MJ	262.39	0.00	0.00	242.40	2.181	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PERNT	MJ	5926.90	0.00	0.00	3.92	2.181	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DM	kg	2.21	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MSF	MJ	1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MSFP	MJ	6.176	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PW	l	2.27	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-

PERE = Renewable primary energy as energy carrier; PERM = Renewable primary energy resources as material utilization; PERF = Total use of renewable primary energy resources; PERNR = Total use of non-renewable primary energy as energy carrier; PERNM = Non-renewable primary energy as material utilization; PERNT = Total use of non-renewable primary energy resources; DM = Use of secondary material; MSF = Use of non-renewable secondary fuels; MSFP = Use of non-renewable secondary fuels; PW = Use of fresh water.

Табела 9.3.3. Упоредни приказ утицаји на животну средину за различите димензије фасадних поља система AF UDC 80 SG

Фасадни систем		AF UDC 80 SG	ОСНОВНИ МОДЕЛ А	
Димензије фиксног транспарентног поља b/h		1250 mm / 3000 mm	1500 mm / 3000 mm	1875 mm / 3000 mm
Тип стакла		Троструко изолована стаклена јединица		
Укупна тежина		160,32 kg	188,21 kg	230,05 kg
Алуминијум		27,33 kg	28,88 kg	31,20 kg
EPDM		4,01 kg	4,24 kg	4,57 kg
Acrylnitril/Styrol/Acrylester		1,82 kg	1,93 kg	2,10 kg
Стаклена јединица		127,11 kg	153,11 kg	192,12 kg
Индикатори утицаја на животну средину				
GWP tot kg CO ₂ eq.	A1-A3	376,39	430,06	510,57
	Ц3	14,44	15,25	16,48
Потенцијал глобалног загревања - укупно	Ц4	1,49E-2	1,57E-2	1,70E-2
	Д	-103,75	-109,63	-118,45
ODP kg CFC-11 eq.	A1-A3	6,55E-9	6,94E-9	7,53E-9
	Ц3	2,20E-15	2,33E-15	2,52E-15
Потенцијал оштећења озонског омотача	Ц4	8,20E-17	8,66E-17	9,36E-17
	Д	-1,47E-9	-1,55E-9	-1,67E-9
AP mol H ⁺ eq.	A1-A3	1,14	1,31	1,56
	Ц3	2,70E-3	2,87E-3	3,11E-3
Потенцијал ацидификације	Ц4	9,48E-5	1,00E-4	1,08E-4
	Д	-3,36E-1	-3,55E-1	-3,83E-1
EP tot kg (PO ₄) ₃ -eq.	A1-A3	2,02E-1	2,38E-1	2,92E-1
	Ц3	6,69E-4	7,09E-4	7,69E-4
Потенцијал Еутрофикације - укупно	Ц4	1,07E-5	1,13E-5	1,22E-5
	Д	-2,06E-2	-2,18E-2	-2,35E-2
POCP kg Ethen eq.	A1-A3	1,38E-1	1,61E-1	1,97E-1
	Ц3	1,93E-4	2,05E-4	2,22E-4
Потенцијал формирања фото- хемијског озона, утицај на здравље људи	Ц4	7,19E-6	7,59E-6	8,20E-6
	Д	-2,05E-2	-2,17E-2	-2,34E-2
ADPE kg Sb eq.	A1-A3	1,40E-4	1,62E-4	1,95E-4
	Ц3	2,82E-8	2,98E-8	3,22E-8
Потрошња ресурса - минералних	Ц4	1,50E-9	1,59E-9	1,72E-9
	Д	-2,97E-5	-3,14E-5	-3,39E-5
ADPF MJ	A1-A3	4645,00	5286,96	6249,91
	Ц3	2,67	2,83	3,06
Потрошња ресурса - фосилних	Ц4	2,11E-1	2,23E-1	2,41E-1
	Д	-1098,39	-1160,66	-1254,06
Индикатори потрошње ресурса				
PERE MJ	A1-A3	1139,86	1234,98	1377,66
	Ц3	5,19E-1	5,49E-1	5,93E-1
Потрошња обновљиве енергије	Ц4	2,85E-2	3,01E-2	3,25E-2
	Д	-711,59	-751,91	-812,38
PERT MJ	A1-A3	1139,86	1234,98	1377,66
	Ц3	5,19E-1	5,49E-1	5,93E-1
Укупна потрошња обновљивих извора енергије	Ц4	2,85E-2	3,01E-2	3,25E-2
	Д	-711,59	-751,91	-812,38

PENRE	A1-A3	5028,36	5699,96	6707,36
MJ	Ц3	248,35	262,49	283,69
Потрошња необновљиве енергије	Ц4	2,18E-1	2,30E-1	2,49E-1
	Д	-1530,28	-1617,02	-1747,13
PENRM	A1-A3	245,32	259,28	280,22
MJ	Ц3	-245,32	-259,28	-280,22
Необновљиви ресурси искоришћени као сировине				
PENRT	A1-A3	5273,68	5959,24	6987,58
MJ	Ц3	3,03	3,21	3,47
Укупна потрошња необновљивих извора енергије	Ц4	2,18E-1	2,30E-1	2,49E-1
	Д	-1530,28	-1617,02	-1747,13
SM	A1-A3	10,54	11,14	12,03
kg				
Унос секундарног материјала				
RSF	A1-A3	5,25E-25	5,25E-25	5,25E-25
MJ				
Потрошња обновљивих секундарних горива				
NRSF	A1-A3	6,17E-24	6,17E-24	6,17E-24
MJ				
Потрошња необновљивих секундарних горива				
FW	A1-A3	2,01	2,19	2,47
m³	Ц3	3,29E-2	3,48E-2	3,77E-2
Потрошња чисте воде	Ц4	5,49E-5	5,80E-5	6,26E-5
	Д	-1,22	-1,29	-1,40
Илазни токови и категорије отпада				
HWD	A1-A3	3,90E-5	4,29E-5	4,88E-5
kg	Ц3	5,99E-9	6,33E-9	6,83E-9
Одлагање штетног отпада	Ц4	3,32E-9	3,51E-9	3,79E-9
	Д	-9,48E-7	-1,00E-6	-1,08E-6
NHWD	A1-A3	47,52	52,15	59,08
kg	Ц3	4,42E-1	4,67E-1	5,05E-1
Одлагање неопасног отпада	Ц4	1,09	1,16	1,25
	Д	-29,57	-31,24	-33,76
RWD	A1-A3	2,48E-1	2,66E-1	2,91E-1
kg	Ц3	1,44E-4	1,52E-4	1,64E-4
Одлагање радиоактивног отпада	Ц4	2,47E-6	2,61E-6	2,82E-6
	Д	-1,70E-1	-1,80E-1	-1,94E-1
MFR	Д	153,36	180,85	222,09
kg				
Материјали за рециклажу				
EEE	Ц3	27,54	29,12	31,49
MJ				
Извезена електрична е.				
EET	Ц3	49,64	52,50	56,78
MJ				
Извезена термална енергија				

Подаци релевантни за МОДЕЛ Б, Фасадни систем AF UDC 80.HI

Димензије фасадног поља 1,25m x 3,00m

ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION
in accordance with EN ISO 14025:2016

Owner of the Declaration: Schüco International KG
 Programme leader: Institut Bauein und Umwelt e.V. (IBU)
 Publisher: Institut Bauein und Umwelt e.V. (IBU)
 Declaration number: EPD 20232-202309-2023090502543-EN-System
 Issue date: 05.09.2023
 Valid to: 04.08.2028

Schüco AF UDC 80 W x H: 1240 mm x 2990 mm
 for project: Doktorarbeit - Item: AF UDC 80.HI 1,25x3,0
 Schüco International KG





1. General Information

Schüco International KG

Programme leader:
IBU - Institut Bauein und Umwelt e.V.
Registrierung: 1
10117 Berlin
Germany
Declaration number:
EPD 20232-202309-2023090502543-EN-System
DOB: 2023-09-05

This Declaration is based on the Product Category Rules:
PCFR curtain walling: 11/2015
PCFR issued and approved by the independent advisory board (SVR):
Issue date:
05.09.2023
Valid to:
04.08.2028

This document is an Environmental Product Declaration which has been translated from German to English. It is based on the German original EPD: 2023-201715-2017111214273836. The writer has no influence on the quality of the translation.

Verification:
CEN standard EN 15804 serves as the core PCR
Independent verification of the declaration and data according to ISO 14025

Dr. Ingrid Hoyer
Head of Institut Bauein und Umwelt e.V.

Dr. Annette Hoyer
Managing Director of Institut Bauein und Umwelt e.V.

Schüco AF UDC 80

Owner of the Declaration:
Schüco International KG
Famulaturstr. 113
33093 Bielefeld
Germany
Declared product / Declared unit:
Schüco AF UDC 80 W x H: 1240 mm x 2990 mm
DOB: 2023-09-05

Scope:
This environmental product declaration relates to a facade of type Schüco AF UDC 80 with specific dimensions of width and height.
The key values used for the system components Schüco AF UDC 80 in the life cycle assessment are provided by Schüco International KG.
The production location is the facade manufacturer's location. The facade manufacturer is responsible for the specification described in this EPD and the manufacture of the window. The owner of the declaration is liable for the information and evidence used as a basis. The IBU cannot be held liable for manufacturer information, life cycle assessment data and evidence.

Verification:
CEN standard EN 15804 serves as the core PCR
Independent verification of the declaration and data according to ISO 14025

Internally Externally

Dr. Ingrid Hoyer
Head of Institut Bauein und Umwelt e.V.

5. LCA: Results

In the following section, the results of the indicators of the assessment of the effect, the use of resources and also waste and other output streams are displayed in reference to a single facade of type Schüco AF UDC 80 in specific dimensions of 1240 mm x 2990 mm. See chapter 3.1 for the conversion.

DESCRIPTION OF THE SYSTEM BOUNDARY (X= INCLUDED IN LCA, M= MODULE NOT DECLARED)

PRODUCT STAGE	CONSTRUCTION PROCESS STAGE	USE STAGE										END OF LIFE STAGE	BENEFITS BEYOND THE SYSTEM BOUNDARY						
		A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4	B5	B6			B7	C1	C2	C3	C4	D
Manufacturing	X	X	X	X	X	M	M	M	M	M	M	M	M	M	X	X	X	X	X

RESULTS OF THE LCA - ENVIRONMENTAL IMPACT

Parameter	Unit	A1+A2	A4	B6	C3	C4	D
GWP	kg CO ₂ -Eq	431.01	0.00	0.00	13.39	2.882.2	-137.40
ADP	kg CO ₂ -Eq	2.668.9	0.00	0.00	2.026.0	1.462.1	-1.364.8
AP	kg PO ₄ -Eq	1.20	0.00	0.00	17.7(3)	179.4	3.9(1)
POCP	kg Ethen-Eq	2.48	0.00	0.00	4.6(3)	1.06(4)	2.4(1)
ADPE	kg In-Eq	1.874.4	0.00	0.00	1.48(4)	271.4	-378.8
ADPF	MJ	597.7(3)	0.00	0.00	3.9(2)	3.99(1)	-127.8(2)

Caption: GWP = Global warming potential; ADP = Abiotic depletion potential of the abiotic resources; AP = Acidification potential of land and water; ADPE = Eutrophication potential; POCP = Formation potential of photochemical oxidants; ADPF = Abiotic depletion potential for non fossil resources; ADPE = Abiotic depletion potential for fossil resources.

RESULTS OF THE LCA - RESOURCE USE

Parameter	Unit	A1+A2	A4	B6	C3	C4	D
PERE	MJ	1370.2(3)	0.00	0.00	1.80(1)	5.13(3)	-830.3(5)
PERM	MJ	1370.2(3)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PERNE	MJ	1370.2(3)	0.00	0.00	1.80(1)	5.13(3)	-830.3(5)
PERNM	MJ	881.1(1)	0.00	0.00	237.4(3)	3.83(1)	-1077.7(5)
PERM1	MJ	793.3(4)	0.00	0.00	333.8(4)	0.00	0.00
PERM2	MJ	804.4(3)	0.00	0.00	4.58	3.83(1)	-1077.7(5)
SM	kg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
RSF	MJ	1.58(2)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
RF	MJ	6.15(2)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FW	l	1.93	0.00	0.00	3.9(2)	3.9(1)	-1.4(1)

Caption: PERE = Renewable primary energy as energy carrier; PERM = Renewable primary energy resources as material utilization; PERM1 = Total use of renewable primary energy resources; PERM2 = Non-renewable primary energy as energy carrier; PERNM = Non-renewable primary energy as material utilization; PERM1 = Total use of non-renewable primary energy resources; SM = Use of secondary material; RSF = Use of renewable secondary fuels; RF = Use of non-renewable secondary fuels; FW = Use of net fresh water.

Димензије фасадног поља 1,50m x 3,00m

ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION
in accordance with EN ISO 14025:2016

Owner of the Declaration: Schüco International KG
 Programme leader: Institut Bauein und Umwelt e.V. (IBU)
 Publisher: Institut Bauein und Umwelt e.V. (IBU)
 Declaration number: EPD 20232-202309-2023090502543-EN-System
 Issue date: 05.09.2023
 Valid to: 04.08.2028

Schüco AF UDC 80 W x H: 1490 mm x 2990 mm
 for project: Doktorarbeit - Item: AF UDC 80.HI 1,50x3,0m
 Schüco International KG





1. General Information

Schüco International KG

Programme leader:
IBU - Institut Bauein und Umwelt e.V.
Registrierung: 1
10117 Berlin
Germany
Declaration number:
EPD 20232-202309-2023090502543-EN-System
DOB: 2023-09-05

This Declaration is based on the Product Category Rules:
PCFR curtain walling: 11/2015
PCFR issued and approved by the independent advisory board (SVR):
Issue date:
05.09.2023
Valid to:
04.08.2028

This document is an Environmental Product Declaration which has been translated from German to English. It is based on the German original EPD: 2023-201715-2017111214273836. The writer has no influence on the quality of the translation.

Verification:
CEN standard EN 15804 serves as the core PCR
Independent verification of the declaration and data according to ISO 14025

Dr. Ingrid Hoyer
Head of Institut Bauein und Umwelt e.V.

Dr. Annette Hoyer
Managing Director of Institut Bauein und Umwelt e.V.

Schüco AF UDC 80

Owner of the Declaration:
Schüco International KG
Famulaturstr. 113
33093 Bielefeld
Germany
Declared product / Declared unit:
Schüco AF UDC 80 W x H: 1490 mm x 2990 mm
DOB: 2023-09-05

Scope:
This environmental product declaration relates to a facade of type Schüco AF UDC 80 with specific dimensions of width and height.
The key values used for the system components Schüco AF UDC 80 in the life cycle assessment are provided by Schüco International KG.
The production location is the facade manufacturer's location. The facade manufacturer is responsible for the specification described in this EPD and the manufacture of the window. The owner of the declaration is liable for the information and evidence used as a basis. The IBU cannot be held liable for manufacturer information, life cycle assessment data and evidence.

Verification:
CEN standard EN 15804 serves as the core PCR
Independent verification of the declaration and data according to ISO 14025

Internally Externally

Dr. Ingrid Hoyer
Head of Institut Bauein und Umwelt e.V.

5. LCA: Results

In the following section, the results of the indicators of the assessment of the effect, the use of resources and also waste and other output streams are displayed in reference to a single facade of type Schüco AF UDC 80 in specific dimensions of 1490 mm x 2990 mm. See chapter 3.1 for the conversion.

DESCRIPTION OF THE SYSTEM BOUNDARY (X= INCLUDED IN LCA, M= MODULE NOT DECLARED)

PRODUCT STAGE	CONSTRUCTION PROCESS STAGE	USE STAGE										END OF LIFE STAGE	BENEFITS BEYOND THE SYSTEM BOUNDARY						
		A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4	B5	B6			B7	C1	C2	C3	C4	D
Manufacturing	X	X	X	X	X	M	M	M	M	M	M	M	M	M	X	X	X	X	X

RESULTS OF THE LCA - ENVIRONMENTAL IMPACT

Parameter	Unit	A1+A2	A4	B6	C3	C4	D
GWP	kg CO ₂ -Eq	523.40	0.00	0.00	19.39	2.882.2	-137.40
ADP	kg CO ₂ -Eq	2.842.9	0.00	0.00	2.066.0	1.462.1	-1.364.8
AP	kg PO ₄ -Eq	1.50	0.00	0.00	6.0(3)	1.80(4)	-4.1(1)
POCP	kg Ethen-Eq	2.81(1)	0.00	0.00	1.96(3)	2.05(4)	-2.94(2)
ADPE	kg In-Eq	1.675(1)	0.00	0.00	3.05(4)	1.75(1)	-2.76(2)
ADPF	kg In-Eq	1.80(4)	0.00	0.00	3.98(4)	2.88(2)	-3.37(3)
ADPF	MJ	637.1(3)	0.00	0.00	3.0(3)	4.02(1)	-133.3(2)

Caption: GWP = Global warming potential; ADP = Abiotic depletion potential of the abiotic resources; AP = Acidification potential of land and water; ADPE = Eutrophication potential; POCP = Formation potential of photochemical oxidants; ADPF = Abiotic depletion potential for non fossil resources; ADPE = Abiotic depletion potential for fossil resources.

RESULTS OF THE LCA - RESOURCE USE

Parameter	Unit	A1+A2	A4	B6	C3	C4	D
PERE	MJ	1571.1(3)	0.00	0.00	6.02(1)	5.83(3)	-881.3(5)
PERM	MJ	1571.1(3)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PERNE	MJ	1571.1(3)	0.00	0.00	6.02(1)	5.83(3)	-881.3(5)
PERNM	MJ	995.2(4)	0.00	0.00	241.8(1)	8.42(1)	-1077.7(5)
PERM1	MJ	797.4(1)	0.00	0.00	-237.4(3)	0.00	0.00
PERM2	MJ	797.4(1)	0.00	0.00	333.8(4)	4.46(1)	-1077.7(5)
SM	kg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
RSF	MJ	1.58(2)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
RF	MJ	6.15(2)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FW	l	1.93	0.00	0.00	3.9(2)	3.9(1)	-1.4(1)

Caption: PERE = Renewable primary energy as energy carrier; PERM = Renewable primary energy resources as material utilization; PERM1 = Total use of renewable primary energy resources; PERM2 = Non-renewable primary energy as energy carrier; PERNM = Non-renewable primary energy as material utilization; PERM1 = Total use of non-renewable primary energy resources; SM = Use of secondary material; RSF = Use of renewable secondary fuels; RF = Use of non-renewable secondary fuels; FW = Use of net fresh water.

Димензије фасадног поља 1,875m x 3,00m

ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION
in accordance with EN ISO 14025:2016

Owner of the Declaration: Schüco International KG
 Programme leader: Institut Bauein und Umwelt e.V. (IBU)
 Publisher: Institut Bauein und Umwelt e.V. (IBU)
 Declaration number: EPD 20232-202309-2023090502543-EN-System
 Issue date: 05.09.2023
 Valid to: 04.08.2028

Schüco AF UDC 80 W x H: 1885 mm x 2990 mm
 for project: Doktorarbeit - Item: AF UDC 80.HI 1,875x3,0m
 Schüco International KG





1. General Information

Schüco International KG

Programme leader:
IBU - Institut Bauein und Umwelt e.V.
Registrierung: 1
10117 Berlin
Germany
Declaration number:
EPD 20232-202309-2023090502543-EN-System
DOB: 2023-09-05

This Declaration is based on the Product Category Rules:
PCFR curtain walling: 11/2015
PCFR issued and approved by the independent advisory board (SVR):
Issue date:
05.09.2023
Valid to:
04.08.2028

This document is an Environmental Product Declaration which has been translated from German to English. It is based on the German original EPD: 2023-201715-2017111214273836. The writer has no influence on the quality of the translation.

Verification:
CEN standard EN 15804 serves as the core PCR
Independent verification of the declaration and data according to ISO 14025

Dr. Ingrid Hoyer
Head of Institut Bauein und Umwelt e.V.

Dr. Annette Hoyer
Managing Director of Institut Bauein und Umwelt e.V.

Schüco AF UDC 80

Owner of the Declaration:
Schüco International KG
Famulaturstr. 113
33093 Bielefeld
Germany
Declared product / Declared unit:
Schüco AF UDC 80 W x H: 1885 mm x 2990 mm
DOB: 2023-09-05

Scope:
This environmental product declaration relates to a facade of type Schüco AF UDC 80 with specific dimensions of width and height.
The key values used for the system components Schüco AF UDC 80 in the life cycle assessment are provided by Schüco International KG.
The production location is the facade manufacturer's location. The facade manufacturer is responsible for the specification described in this EPD and the manufacture of the window. The owner of the declaration is liable for the information and evidence used as a basis. The IBU cannot be held liable for manufacturer information, life cycle assessment data and evidence.

Verification:
CEN standard EN 15804 serves as the core PCR
Independent verification of the declaration and data according to ISO 14025

Internally Externally

Dr. Ingrid Hoyer
Head of Institut Bauein und Umwelt e.V.

5. LCA: Results

In the following section, the results of the indicators of the assessment of the effect, the use of resources and also waste and other output streams are displayed in reference to a single facade of type Schüco AF UDC 80 in specific dimensions of 1885 mm x 2990 mm. See chapter 3.1 for the conversion.

DESCRIPTION OF THE SYSTEM BOUNDARY (X= INCLUDED IN LCA, M= MODULE NOT DECLARED)

PRODUCT STAGE	CONSTRUCTION PROCESS STAGE	USE STAGE										END OF LIFE STAGE	BENEFITS BEYOND THE SYSTEM BOUNDARY						
		A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4	B5	B6			B7	C1	C2	C3	C4	D
Manufacturing	X	X	X	X	X	M	M	M	M	M	M	M	M	M	X	X	X	X	X

RESULTS OF THE LCA - ENVIRONMENTAL IMPACT

Parameter	Unit	A1+A2	A4	B6	C3	C4	D
GWP	kg CO ₂ -Eq	617.84	0.00	0.00	19.71	3.092.2	-137.40
ADP	kg CO ₂ -Eq	3.075.9	0.00	0.00	2.076.0	1.462.1	-1.364.8
AP	kg PO ₄ -Eq	1.84	0.00	0.00	6.0(3)	1.80(4)	-4.1(1)
POCP	kg Ethen-Eq	3.46(1)	0.00	0.00	1.96(3)	2.19(4)	-2.76(2)
ADPE	kg In-Eq	2.28(1)	0.00	0.00	4.25(4)	1.46(1)	-2.76(2)
ADPF	kg In-Eq	2.36(4)	0.00	0.00	3.98(4)	3.09(2)	-4.71(3)
ADPF	MJ	747.5(3)	0.00	0.00	4.1(3)	4.92(1)	-144.2(2)

Caption: GWP = Global warming potential; ADP = Abiotic depletion potential of the abiotic resources; AP = Acidification potential of land and water; ADPE = Eutrophication potential; POCP = Formation potential of photochemical oxidants; ADPF = Abiotic depletion potential for non fossil resources; ADPE = Abiotic depletion potential for fossil resources.

RESULTS OF THE LCA - RESOURCE USE

Parameter	Unit	A1+A2	A4	B6	C3	C4	D
PERE	MJ	1869.2(3)	0.00	0.00	6.02(1)	5.83(3)	-881.3(5)
PERM	MJ	1869.2(3)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PERNE	MJ	1869.2(3)	0.00	0.00	6.02(1)	5.83(3)	-881.3(5)
PERNM	MJ	1199.4(2)	0.00	0.00	261.7(1)	8.42(1)	-1077.7(5)
PERM1	MJ	797.4(1)	0.00	0.00	-237.4(3)	0.00	0.00
PERM2	MJ	797.4(1)	0.00	0.00	333.8(4)	4.46(1)	-1077.7(5)
SM	kg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
RSF	MJ	1.58(2)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
RF	MJ	6.15(2)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FW	l	1.93	0.00	0.00	3.9(2)	3.9(1)	-1.4(1)

Caption: PERE = Renewable primary energy as energy carrier; PERM = Renewable primary energy resources as material utilization; PERM1 = Total use of renewable primary energy resources; PERM2 = Non-renewable primary energy as energy carrier; PERNM = Non-renewable primary energy as material utilization; PERM1 = Total use of non-renewable primary energy resources; SM = Use of secondary material; RSF = Use of renewable secondary fuels; RF = Use of non-renewable secondary fuels; FW = Use of net fresh water.

Табела 9.3.4 Упоредни приказ утицаји на животну средину за различите димензије фасадних поља система AF UDC 80.HI

Фасадни систем	AF UDC 80.HI		ОСНОВНИ МОДЕЛ В	
	1250 mm / 3000 mm	1500 mm / 3000 mm	1875 mm / 3000 mm	
Димензије фиксног транспарентног поља b/h				
Тип стакла	Троструко изолована стаклена јединица			
Укупна тежина	162,6 kg	211,64 kg	259,11 kg	
Алуминијум	32,47 kg	34,25 kg	36,95 kg	
EPDM	3,47 kg	3,45 kg	3,74 kg	
РА 66	2,58 kg	2,73 kg	2,96 kg	
Стаклена јединица	123,31 kg	170,39 kg	214,58 kg	
Индикатори утицаја на животну средину				
GWP tot kg CO ₂ eq.	A1-A3	431,01	523,40	617,84
	Ц3	13,38	13,58	14,71
	Ц4	2,68E-2	2,83E-2	3,06E-2
Потенцијал глобалног загревања - укупно	Д	-120,93	-127,40	-137,46
	A1-A3	2,69E-9	2,84E-9	3,07E-9
ODP kg CFC-11 eq.	Ц3	2,52E-15	2,59E-15	2,81E-15
	Ц4	1,48E-16	1,56E-16	1,68E-16
	Д	-1,74E-9	-1,84E-9	-1,98E-9
Потенцијал оштећења озонског омотача	A1-A3	1,26	1,55	1,84
	Ц3	5,71E-3	6,01E-3	6,51E-3
	Ц4	1,70E-4	1,80E-4	1,95E-4
AP mol H ⁺ eq.	Д	-3,97E-1	-4,18E-1	-4,51E-1
	A1-A3	2,16E-1	2,81E-1	3,44E-1
EP tot kg (PO ₄) ₃ -eq.	Ц3	1,46E-3	1,54E-3	1,66E-3
	Ц4	1,92E-5	2,03E-5	2,19E-5
	Д	-2,41E-2	-2,54E-2	-2,74E-2
Потенцијал Еутрофикације - укупно	A1-A3	1,45E-1	1,87E-1	2,28E-1
	Ц3	3,63E-4	3,81E-4	4,12E-4
POCP kg Ethen eq. Потенцијал формирања фото- хемијског озона, утицај на здравље људи	Ц4	1,29E-5	1,37E-5	1,48E-5
	Д	-2,41E-2	-2,54E-2	-2,74E-2
	A1-A3	1,57E-4	1,95E-4	2,34E-4
ADPE kg Sb eq. Потрошња ресурса - минералних	Ц3	3,45E-8	3,56E-8	3,86E-8
	Ц4	2,71E-9	2,86E-9	3,09E-9
	Д	-3,78E-5	-3,97E-5	-4,31E-5
ADPF MJ Потрошња ресурса - фосилних	A1-A3	5287,16	6371,17	7497,69
	Ц3	3,69	3,83	4,15
	Ц4	3,80E-1	4,02E-1	4,34E-1
Д	-1271,99	-1339,32	-1445,25	
Индикатори потрошње ресурса				
PERE MJ Потрошња обновљиве енергије	A1-A3	1379,25	1519,61	1689,92
	Ц3	5,86E-1	6,02E-1	6,52E-1
	Ц4	5,13E-2	5,42E-2	5,85E-2
PERT MJ Укупна потрошња обновљивих извора енергије	Д	-836,36	-881,70	-951,25
	A1-A3	1379,25	1519,61	1689,92
PENRE	Ц3	5,86E-1	6,02E-1	6,52E-1
	Ц4	5,13E-2	5,42E-2	5,85E-2
	Д	-836,36	-881,70	-951,25
A1-A3	5812,11	6950,54	8134,88	

MJ	Ц3	237,43	241,64	261,78
Потрошња необновљиве енергије	Ц4	3,92E-1	4,14E-1	4,47E-1
	Д	-1777,19	-1871,73	-2019,67
PENRM	A1-A3	233,34	237,41	257,20
MJ	Ц3	-233,34	-237,41	-257,20
Необновљиви ресурси искоришћени као сировине				
PENRT	A1-A3	6045,45	7187,95	8392,08
MJ	Ц3	4,08	4,23	4,58
Укупна потрошња необновљивих извора енергије	Ц4	3,92E-1	4,14E-1	4,47E-1
	Д	-1777,19	-1871,73	-2019,67
SM	A1-A3	12,56	13,25	14,30
kg				
Унос секундарног материјала				
RSF	A1-A3	5,25E-25	5,25E-25	5,25E-25
MJ				
Потрошња обновљивих секундарних горива				
NRSF	A1-A3	6,17E-24	6,17E-24	6,17E-24
MJ				
Потрошња необновљивих секундарних горива				
FW	A1-A3	2,50	2,78	3,12
m³	Ц3	3,08E-2	3,14E-2	3,40E-2
Потрошња чисте воде	Ц4	9,87E-5	1,04E-4	1,13E-4
	Д	-1,45	-1,52	-1,64
Изразни токови и категорије отпада				
HWD	A1-A3	1,44E-5	1,85E-5	2,25E-5
kg	Ц3	9,26E-9	9,57E-9	1,04E-8
Одлагање штетног отпада	Ц4	5,97E-9	6,31E-9	6,81E-9
	Д	-1,12E-6	-1,18E-6	-1,27E-6
NHWD	A1-A3	55,90	63,11	71,25
kg	Ц3	6,72E-1	6,94E-1	7,52E-1
Одлагање неопасног отпада	Ц4	1,97	2,08	2,25
	Д	-35,11	-37,04	-39,96
RWD	A1-A3	2,99E-1	3,23E-1	3,53E-1
kg	Ц3	1,55E-4	1,59E-4	1,72E-4
Одлагање радиоактивног отпада	Ц4	4,46E-6	4,71E-6	5,09E-6
	Д	-1,99E-1	-2,10E-1	-2,27E-1
MFR	Д	154,55	203,35	250,13
kg				
Материјали за рециклажу				
EEE	Ц3	22,38	22,79	24,68
MJ				
Извезена електрична е.				
EET	Ц3	40,21	40,94	44,34
MJ				
Извезена термална енергија				

ПРИЛОГ 4. Инвентар за прорачун основних и оптимизованих модела

4.1 Алуминијумски профили оквира

Подаци из декларација *Hydro Circal* и *Hydro Reduxa* елоксираних алуминијумских профила

- Оригинални назив декларација:
Aluminium profiles implemented with Hydro Reduxa billet
Aluminium profiles implemented with Hydro Circal billet
- Извор података: *The International EPD System*⁷⁸
- Година публикавања: 2022
- Важи до: 2027
- Примењени стандарди: *EN ISO 14040: 2006, EN ISO 14044:2006, EN 15804:2012+A2:2019, EN 15804:2012+A1:2013*
- Обухваћени модули: А1-А3, А4, Ц1, Ц2, Ц3, Ц4, Д
- Процеси у оквиру модула:
 - А1: производња сировина
 - А2: транспорт сировина до фабрике
 - А3: укључује следеће фазе производње: екструзија, израда, заваривање, елоксирање, фарбање као и производњу примарне амбалаже, помоћних материјала и третман отпада који настаје током производних процеса.
 - А4: транспорт до даљег корисника
 - Ц1: демонтажа
 - Ц2: транспорт до места одлагања
 - Ц3: обрада отпада, сортирање и сечње
 - Ц4: одлагање на депонију оног дела материјала који не улази у даљи третман рециклаже
 - Д: транспорт до места рециклаже, процес претапања и корист због избегавања производње примарног алуминијума
- Јединица: 1kg
- Животни век: 50 година
- Подаци о крају животног циклуса:
 - Ефикасност сакупљања - прикупљен алуминијум 96%, алуминијум изгубљен на месту сакупљања 4%
 - Ефикасност обраде – део алуминијума који се шаље на рециклажу након уситњавања 95%, део алуминијума који је изгубљен током процеса уситњавања 5%
- Састав улазног метала:
 - Hydro Circal*
 - 19.7% - алуминијум који је рециклиран у фабрици током процеса производње
 - 82,1% - алуминијум који је рециклиран на крају животног века других производа
 - Hydro Reduxa*
 - 1% - легуре 1%
 - 99% - алуминијум који је рециклиран у фабрици током процеса производње

⁷⁸ Подаци су добијени од произвођача али су доступни за преузимање на линку:
<https://www.environdec.com/library/epd7358>

Табела 9.4.1. *Hydro Circal* - Подаци о еколошким утицајима производње 1kg елоксираниог алуминијумског профила, израчунати према стандарду EN 15804:2012+A2:2019

Ознака	Јединица	A1-A3	Ц3	Ц4	Д	
Индикатори утицаја на животну средину						
Потенцијал глобалног загревања - укупно	<i>GWP_{tot}</i>	kg CO ₂ eq.	3,60E+00	1,99E-02	5,80E-04	-1,34E+00
Потенцијал глобалног загревања - фосилно	<i>GWP_f</i>	kg CO ₂ eq.	3,52E+00	1,98E-02	5,97E-04	-1,34E+00
Потенцијал глобалног загревања - биогено	<i>GWP_b</i>	kg CO ₂ eq.	7,31E-02	1,49E-04	-1,77E-05	-2,78E-03
Потенцијал глобалног загревања – коришћење земљишта	<i>GWP_{luc}</i>	kg CO ₂ eq.	1,00E-02	6,23E-06	1,10E-06	-2,41E-04
Потенцијал оштећења озонског омотача	<i>ODP</i>	kg CFC-11 eq.	1,76E-07	2,78E-13	1,40E-15	-1,00E-11
Потенцијал ацидификације	<i>AP</i>	mol H ⁺ eq.	3,01E-02	4,73E-05	4,23E-06	-7,79E-03
Потенцијал еутрофикације - слатка вода	<i>Ep_{fr}</i>	kg P eq.	1,56E-04	5,70E-08	1,01E-09	-5,98E-07
Потенцијал еутрофикације - слана вода	<i>EP_{mar}</i>	kg N eq.	4,35E-03	1,11E-05	1,08E-06	-1,12E-03
Потенцијал еутрофикације - земљиште	<i>EP_{ter}</i>	Mol N eq.	4,69E-02	1,17E-04	1,19E-05	-1,23E-02
Потенцијал формирања фото- хемијског озона, утицај на здравље људи	<i>POCP</i>	kg NMVOC eq.	1,33E-02	2,99E-05	3,29E-06	-3,39E-03
Потрошња ресурса - минералних	<i>ADPe</i>	kg Sb eq.	1,79E-05	5,24E-09	6,12E-11	-3,01E-07
Потрошња ресурса - фосилних	<i>ADPf</i>	MJ	7,70E+01	3,53E-01	7,82E-03	-1,64E+01
Потрошња воде	<i>WU</i>	m ³	6,50E-01	4,32E-03	6,55E-05	-1,98E-01

	Ознака	Јединица	A1-A3	Ц3	Ц4	Д
Индикатори потрошње ресурса						
Потрошња обновљиве енергије	<i>PERE</i>	MJ	2,76E+01	1,91E-01	1,17E-03	-7,45E+00
Обновљиви ресурси искоришћени као сировине	<i>PERM</i>	MJ	0,00	0,00	0,00	0,00
Укупна потрошња обновљивих извора енергије	<i>PERT</i>	MJ	2,76E+01	1,91E-01	1,17E-03	-7,45E+00
Потрошња необновљиве енергије	<i>PENRE</i>	MJ	7,70E+01	3,53E-01	7,83E-03	-1,64E+01
Необновљиви ресурси искоришћени као сировине	<i>PENRM</i>	MJ	0,00	0,00	0,00	0,00
Укупна потрошња необновљивих извора енергије	<i>PENRT</i>	MJ	7,70E+01	3,53E-01	7,83E-03	-1,64E+01
Унос секундарног материјала	<i>SM</i>	kg	8,21E-01	0,00	0,00	0,00
Потрошња обновљивих секундарних горива	<i>RSF</i>	MJ	0,00	0,00	0,00	0,00
Потрошња необновљивих секундарних горива	<i>NRSF</i>	MJ	0,00	0,00	0,00	0,00
Потрошња чисте воде	<i>FW</i>	m ³	5,04E-01	1,83E-04	1,99E-06	-1,89E-02
Излазни токови						
Компоненте за поновну употребу	<i>CRU</i>	kg	0,00	0,00	0,00	0,00
Материјали за рециклажу	<i>MFR</i>	kg	1,52E+00	9,12E-01	0,00	0,00
Материјали за повратак енергије	<i>MER</i>	kg	3,57E-02	0,00	0,00	0,00
Извезена електрична енергија	<i>EEE</i>	MJ	3,47E-02	0,00	0,00	0,00
Извезена термална енергија	<i>EET</i>	MJ	6,27E-02	0,00	0,00	0,00
Категорије отпада						
Количина одложеног штетног отпада	<i>HWD</i>	kg	7,08E-03	3,01E-11	4,02E-13	-1,16E-08
Количина одложеног неопасног отпада	<i>NHWD</i>	kg	3,11E+00	4,83E-02	4,00E-02	-4,01E-01
Количина одложеног радиоактивног отпада	<i>RWD</i>	kg	1,54E-02	5,46E-05	8,74E-08	-9,79E-04

Табела 9.4.2. Hydro Reduxa - Подаци о еколошким утицајима производње 1kg еоксираног алуминијумског профила, израчунати према стандарду EN 15804:2012+A2:2019

	Ознака	Јединица	A1-A3	Ц3	Ц4	Д
Индикатори утицаја на животну средину						
Потенцијал глобалног загревања - укупно	<i>GWP tot</i>	kg CO ₂ eq.	4,77E+00	1,99E-02	5,80E-04	-7,50E+00
Потенцијал глобалног загревања - фосилно	<i>GWP f</i>	kg CO ₂ eq.	4,66E+00	1,98E-02	5,97E-04	-7,48E+00
Потенцијал глобалног загревања - биогено	<i>GWP b</i>	kg CO ₂ eq.	1,00E-01	1,49E-04	-1,77E-05	-1,55E-02
Потенцијал глобалног загревања – коришћење земљишта	<i>GWP luc</i>	kg CO ₂ eq.	7,91E-03	6,23E-06	1,10E-06	-1,35E-03
Потенцијал оштећења озонског омотача	<i>ODP</i>	kg CFC-11 eq.	4,84E-07	2,78E-13	1,40E-15	-5,61E-11
Потенцијал ацидификације	<i>AP</i>	mol H ⁺ eq.	2,78E-02	4,73E-05	4,23E-06	-4,35E-02
Потенцијал еутрофикације - слатка вода	<i>Epfr</i>	kg P eq.	8,09E-05	5,70E-08	1,01E-09	-3,34E-06
Потенцијал еутрофикације - слана вода	<i>EPmar</i>	kg N eq.	4,55E-03	1,11E-05	1,08E-06	-6,27E-03
Потенцијал еутрофикације - земљиште	<i>Epter</i>	Mol N eq.	4,76E-02	1,17E-04	1,19E-05	-6,85E-02
Потенцијал формирања фотохемијског озона, утицај на здравље људи	<i>POCP</i>	kg NMVOC eq.	1,40E-02	2,99E-05	3,29E-06	-1,89E-02
Потрошња ресурса - минералних	<i>ADPe</i>	kg Sb eq.	6,33E-06	5,24E-09	6,12E-11	-1,68E-06
Потрошња ресурса - фосилних	<i>ADPf</i>	MJ	8,45E+01	3,53E-01	7,82E-03	-9,17E+01
Потрошња воде	<i>WU</i>	m ³	9,89E-01	4,32E-03	6,55E-05	-1,11E+00

	Ознака	Јединица	A1-A3	Ц3	Ц4	Д
Индикатори потрошње ресурса						
Потрошња обновљиве енергије	<i>PERE</i>	MJ	7,79E+01	1,91E-01	1,17E-03	-4,16E+01
Обновљиви ресурси искоришћени као сировине	<i>PERM</i>	MJ	0,00	0,00	0,00	0,00
Укупна потрошња обновљивих извора енергије	<i>PERT</i>	MJ	7,79E+01	1,91E-01	1,17E-03	-4,16E+01
Потрошња необновљиве енергије	<i>PENRE</i>	MJ	8,45E+01	3,53E-01	7,83E-03	-9,18E+01
Необновљиви ресурси искоришћени као сировине	<i>PENRM</i>	MJ	0,00	0,00	0,00	0,00
Укупна потрошња необновљивих извора енергије	<i>PENRT</i>	MJ	8,45E+01	3,53E-01	7,83E-03	-9,18E+01
Унос секундарног материјала	<i>SM</i>	kg	0,00	0,00	0,00	0,00
Потрошња обновљивих секундарних горива	<i>RSF</i>	MJ	0,00	0,00	0,00	0,00
Потрошња необновљивих секундарних горива	<i>NRSF</i>	MJ	0,00	0,00	0,00	0,00
Потрошња чисте воде	<i>FW</i>	m ³	5,04E-01	1,83E-04	1,99E-06	-1,05E-01
Излазни токови						
Компоненте за поновну употребу	<i>CRU</i>	kg	0,00	0,00	0,00	0,00
Материјали за рециклажу	<i>MFR</i>	kg	1,52E+00	9,12E-01	0,00	0,00
Материјали за повратак енергије	<i>MER</i>	kg	3,57E-02	0,00	0,00	0,00
Извезена електрична енергија	<i>EEE</i>	MJ	3,47E-02	0,00	0,00	0,00
Извезена термална енергија	<i>EET</i>	MJ	6,27E-02	0,00	0,00	0,00
Категорије отпада						
Одлагање штетног отпада	<i>HWD</i>	kg	3,02E-02	3,01E-11	4,02E-13	-6,46E-08
Одлагање неопасног отпада	<i>NHWD</i>	kg	3,65E+00	4,83E-02	4,00E-02	-2,24E+00
Одлагање радиоактивног отпада	<i>RWD</i>	kg	1,56E-02	5,46E-05	8,74E-08	-5,47E-03

4.2 Термоизолациони стаклени пакети

Двоструко изоловани стаклени пакет 66.2-16-8 (равно стакло *PLANICLEAR*)

Табела 9.4.3. Подаци о еколошким утицајима 1m² двоструко изолованог стакленог пакета конфигурације 66.2-16-8 са равним стаклом *PLANICLEAR* - Према прорачуну аутора

	Ознака	Јединица	A1-A3	Б2	Ц4	Д
Индикатори утицаја на животну средину						
Потенцијал глобалног загревања - укупно	<i>GWP tot</i>	kg CO ₂ eq.	7.61E+01	9.50E-02	7.19E-01	0.00E+00
Потенцијал глобалног загревања - фосилно	<i>GWP f</i>	kg CO ₂ eq.	7.49E+01	8.08E-02	7.78E-01	0.00E+00
Потенцијал глобалног загревања - биогено	<i>GWP b</i>	kg CO ₂ eq.	1.18E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Потенцијал глобалног загревања – коришћење земљишта	<i>GWP luc</i>	kg CO ₂ eq.	3.98E-02	7.28E-02	2.24E-03	0.00E+00
Потенцијал оштећења озонског омотача	<i>ODP</i>	kg CFC-11 eq.	2.65E-07	4.39E-09	2.88E-15	0.00E+00
Потенцијал ацидификације	<i>AP</i>	mol H ⁺ eq.	3.65E-01	4.99E-04	5.59E-03	0.00E+00
Потенцијал еутрофикације - слатка вода	<i>Epfr</i>	kg P eq.	1.47E-04	3.23E-05	1.34E-06	0.00E+00
Потенцијал еутрофикације - слана вода	<i>EPmar</i>	kg N eq.	8.61E-02	5.33E-04	1.44E-03	0.00E+00
Потенцијал еутрофикације - земљиште	<i>Epter</i>	Mol N eq.	1.05E+00	1.38E-03	1.57E-02	0.00E+00
Потенцијал формирања фотохемијског озона, утицај на здравље људи	<i>POCP</i>	kg NMVOC eq.	2.27E-01	3.22E-04	4.35E-03	0.00E+00
Потрошња ресурса - минералних	<i>ADPe</i>	kg Sb eq.	4.95E-05	2.55E-06	6.99E-08	0.00E+00
Потрошња ресурса - фосилних	<i>ADPf</i>	MJ	1.05E+03	1.38E+00	1.02E+01	0.00E+00
Потрошња воде	<i>WU</i>	m ³	7.91E+00	3.27E-01	8.16E-02	0.00E+00
	Ознака	Јединица	A1-A3	Б2	Ц4	Д

Индикатори потрошње ресурса

Потрошња обновљиве енергије	<i>PERE</i>	MJ	1.12E+02	7.69E-01	1.34E+00	0.00E+00
Обновљиви ресурси искоришћени као сировине	<i>PERM</i>	MJ	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Укупна потрошња обновљивих извора енергије	<i>PERT</i>	MJ	1.12E+02	7.69E-01	1.34E+00	0.00E+00
Потрошња необновљиве енергије	<i>PENRE</i>	MJ	1.05E+03	1.38E+00	1.02E+01	0.00E+00
Необновљиви ресурси искоришћени као сировине	<i>PENRM</i>	MJ	7.69E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Укупна потрошња необновљивих извора енергије	<i>PENRT</i>	MJ	1.06E+03	1.48E+00	1.02E+01	0.00E+00
Унос секундарног материјала	<i>SM</i>	kg	6.17E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Потрошња обновљивих секундарних горива	<i>RSF</i>	MJ	8.38E-11	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Потрошња необновљивих секундарних горива	<i>NRSF</i>	MJ	9.84E-10	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Потрошња чисте воде	<i>FW</i>	m ³	2.58E-01	7.61E-03	2.57E-03	0.00E+00
Излазни токови						
Компоненте за поновну употребу	<i>CRU</i>	kg	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Материјали за рециклажу	<i>MFR</i>	kg	4.43E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Материјали за повратак енергије	<i>MER</i>	kg	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Извезена електрична енергија	<i>EEE</i>	MJ	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Извезена термална енергија	<i>EET</i>	MJ	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Категорије отпада						
Одлагање штетног отпада	<i>HWD</i>	kg	1.85E-06	7.69E-11	1.56E-07	0.00E+00
Одлагање неопасног отпада	<i>NHWD</i>	kg	2.44E+00	6.47E-03	5.13E+01	0.00E+00
Одлагање радиоактивног отпада	<i>RWD</i>	kg	2.59E-02	2.84E-06	1.16E-04	0.00E+00

Двоструко изоловани стаклени пакет 66.2-16-8 (равно стакло *ORAE*)

Табела 9.4.4. Подаци о еколошким утицајима 1m² двоструко изолованог стакленог пакета конфигурације 66.2-16-8 са равним стаклом *ORAE* - Према прорачуну аутора

	Ознака	Јединица	A1-A3	Б2	Ц4	Д
Индикатори утицаја на животну средину						
Потенцијал глобалног загревања - укупно	<i>GWP tot</i>	kg CO ₂ eq.	5.10E+01	9.50E-02	8.19E-01	0.00E+00
Потенцијал глобалног загревања - фосилно	<i>GWP f</i>	kg CO ₂ eq.	5.07E+01	8.08E-02	7.78E-01	0.00E+00
Потенцијал глобалног загревања - биогено	<i>GWP b</i>	kg CO ₂ eq.	2.70E-01	0.00E+00	4.00E-02	0.00E+00
Потенцијал глобалног загревања – коришћење земљишта	<i>GWP luc</i>	kg CO ₂ eq.	3.52E-02	7.28E-02	2.24E-03	0.00E+00
Потенцијал оштећења озонског омотача	<i>ODP</i>	kg CFC-11 eq.	2.75E-07	4.39E-09	2.88E-15	0.00E+00
Потенцијал ацидификације	<i>AP</i>	mol H ⁺ eq.	2.16E-01	4.99E-04	5.59E-03	0.00E+00
Потенцијал еутрофикације - слатка вода	<i>Epfr</i>	kg P eq.	3.41E-04	3.23E-05	1.34E-06	0.00E+00
Потенцијал еутрофикације - слана вода	<i>EPmar</i>	kg N eq.	4.85E-02	5.33E-04	1.44E-03	0.00E+00
Потенцијал еутрофикације - земљиште	<i>Epter</i>	Mol N eq.	5.31E-01	1.38E-03	1.57E-02	0.00E+00
Потенцијал формирања фотохемијског озона, утицај на здравље људи	<i>POCP</i>	kg NMVOC eq.	1.35E-01	3.22E-04	4.35E-03	0.00E+00
Потрошња ресурса - минералних	<i>ADPe</i>	kg Sb eq.	5.06E-05	2.55E-06	6.99E-08	0.00E+00
Потрошња ресурса - фосилних	<i>ADPf</i>	MJ	7.20E+02	1.38E+00	1.02E+01	0.00E+00
Потрошња воде	<i>WU</i>	m ³	9.84E+00	3.27E-01	8.16E-02	0.00E+00

	Ознака	Јединица	A1-A3	Б2	Ц4	Д
Индикатори потрошње ресурса						
Потрошња обновљиве енергије	<i>PERE</i>	MJ	1.15E+02	7.69E-01	1.34E+00	0.00E+00
Обновљиви ресурси искоришћени као сировине	<i>PERM</i>	MJ	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Укупна потрошња обновљивих извора енергије	<i>PERT</i>	MJ	1.15E+02	7.69E-01	1.34E+00	0.00E+00
Потрошња необновљиве енергије	<i>PENRE</i>	MJ	3.27E+02	1.38E+00	2.65E-01	0.00E+00
Необновљиви ресурси искоришћени као сировине	<i>PENRM</i>	MJ	3.95E+02	0.00E+00	9.95E+00	0.00E+00
Укупна потрошња необновљивих извора енергије	<i>PENRT</i>	MJ	7.22E+02	1.48E+00	1.02E+01	0.00E+00
Унос секундарног материјала	<i>SM</i>	kg	3.28E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Потрошња обновљивих секундарних горива	<i>RSF</i>	MJ	9.25E-12	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Потрошња необновљивих секундарних горива	<i>NRSF</i>	MJ	1.09E-10	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Потрошња чисте воде	<i>FW</i>	m ³	2.17E-01	7.61E-03	2.57E-03	0.00E+00
Излазни токови						
Компоненте за поновну употребу	<i>CRU</i>	kg	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Материјали за рециклажу	<i>MFR</i>	kg	4.43E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Материјали за повратак енергије	<i>MER</i>	kg	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Извезена електрична енергија	<i>EEE</i>	MJ	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Извезена термална енергија	<i>EET</i>	MJ	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Категорије отпада						
Одлагање штетног отпада	<i>HWD</i>	kg	1.67E-06	7.69E-11	1.56E-07	0.00E+00
Одлагање неопасног отпада	<i>NHWD</i>	kg	1.01E+00	6.47E-03	5.13E+01	0.00E+00
Одлагање радиоактивног отпада	<i>RWD</i>	kg	1.78E-02	2.84E-06	1.16E-04	0.00E+00

Двоструко изоловани стаклени пакет 8t-16-6 (равно стакло *PLANICLEAR*)

Табела 9.4.5. Подаци о еколошким утицајима 1m² двоструко изолованог стакленог пакета конфигурације 8t-16-6 са равним стаклом *PLANICLEAR* - Према прорачуну аутора

	Ознака	Јединица	A1-A3	B2	Ц4	Д
Индикатори утицаја на животну средину						
Потенцијал глобалног загревања - укупно	<i>GWP tot</i>	kg CO ₂ eq.	5.49E+01	9.50E-02	4.97E-01	0.00E+00
Потенцијал глобалног загревања - фосилно	<i>GWP f</i>	kg CO ₂ eq.	5.39E+01	8.08E-02	5.38E-01	0.00E+00
Потенцијал глобалног загревања - биогено	<i>GWP b</i>	kg CO ₂ eq.	1.04E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Потенцијал глобалног загревања – коришћење земљишта	<i>GWP luc</i>	kg CO ₂ eq.	4.02E-02	7.28E-02	1.55E-03	0.00E+00
Потенцијал оштећења озонског омотача	<i>ODP</i>	kg CFC-11 eq.	2.61E-07	4.39E-09	1.99E-15	0.00E+00
Потенцијал ацидификације	<i>AP</i>	mol H ⁺ eq.	2.67E-01	4.99E-04	3.86E-03	0.00E+00
Потенцијал еутрофикације - слатка вода	<i>Epfr</i>	kg P eq.	1.19E-04	3.23E-05	9.24E-07	0.00E+00
Потенцијал еутрофикације - слана вода	<i>EPmar</i>	kg N eq.	6.29E-02	5.33E-04	9.94E-04	0.00E+00
Потенцијал еутрофикације - земљиште	<i>Epter</i>	Mol N eq.	7.68E-01	1.38E-03	1.09E-02	0.00E+00
Потенцијал формирања фотохемијског озона, утицај на здравље људи	<i>POCP</i>	kg NMVOC eq.	1.66E-01	3.22E-04	3.01E-03	0.00E+00
Потрошња ресурса - минералних	<i>ADPe</i>	kg Sb eq.	4.87E-05	2.55E-06	4.83E-08	0.00E+00
Потрошња ресурса - фосилних	<i>ADPf</i>	MJ	7.83E+02	1.38E+00	7.06E+00	0.00E+00
Потрошња воде	<i>WU</i>	m ³	7.40E+00	3.27E-01	5.64E-02	0.00E+00

	Ознака	Јединица	A1-A3	Б2	Ц4	Д
Индикатори потрошње ресурса						
Потрошња обновљиве енергије	<i>PERE</i>	MJ	1.62E+02	7.69E-01	9.25E-01	0.00E+00
Обновљиви ресурси искоришћени као сировине	<i>PERM</i>	MJ	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Укупна потрошња обновљивих извора енергије	<i>PERT</i>	MJ	1.62E+02	7.69E-01	9.25E-01	0.00E+00
Потрошња необновљиве енергије	<i>PENRE</i>	MJ	7.75E+02	1.38E+00	7.06E+00	0.00E+00
Необновљиви ресурси искоришћени као сировине	<i>PENRM</i>	MJ	7.69E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Укупна потрошња необновљивих извора енергије	<i>PENRT</i>	MJ	7.83E+02	1.48E+00	7.06E+00	0.00E+00
Унос секундарног материјала	<i>SM</i>	kg	4.37E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Потрошња обновљивих секундарних горива	<i>RSF</i>	MJ	5.93E-11	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Потрошња необновљивих секундарних горива	<i>NRSF</i>	MJ	6.97E-10	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Потрошња чисте воде	<i>FW</i>	m ³	2.58E-01	7.61E-03	1.78E-03	0.00E+00
Излазни токови						
Компоненте за поновну употребу	<i>CRU</i>	kg	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Материјали за рециклажу	<i>MFR</i>	kg	8.59E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Материјали за повратак енергије	<i>MER</i>	kg	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Извезена електрична енергија	<i>EEE</i>	MJ	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Извезена термална енергија	<i>EET</i>	MJ	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Категорије отпада						
Одлагање штетног отпада	<i>HWD</i>	kg	1.60E-06	7.69E-11	1.08E-07	0.00E+00
Одлагање неопасног отпада	<i>NHWD</i>	kg	2.11E+00	6.47E-03	3.55E+01	0.00E+00
Одлагање радиоактивног отпада	<i>RWD</i>	kg	3.61E-02	2.84E-06	8.02E-05	0.00E+00

Двоструко изоловани стаклени пакет 8t-16-6 (равно стакло *ORAE*)

Табела 9.4.6. Подаци о еколошким утицајима 1m² двоструко изолованог стакленог пакета конфигурације 8t-16-6 са равним стаклом *ORAE* - Према прорачуну аутора

	Ознака	Јединица	A1-A3	Б2	Ц4	Д
Индикатори утицаја на животну средину						
Потенцијал глобалног загревања - укупно	<i>GWP tot</i>	kg CO ₂ eq.	3.73E+01	9.50E-02	5.67E-01	0.00E+00
Потенцијал глобалног загревања - фосилно	<i>GWP f</i>	kg CO ₂ eq.	3.70E+01	8.08E-02	5.38E-01	0.00E+00
Потенцијал глобалног загревања - биогено	<i>GWP b</i>	kg CO ₂ eq.	4.06E-01	0.00E+00	2.80E-02	0.00E+00
Потенцијал глобалног загревања – коришћење земљишта	<i>GWP luc</i>	kg CO ₂ eq.	3.70E-02	7.28E-02	1.55E-03	0.00E+00
Потенцијал оштећења озонског омотача	<i>ODP</i>	kg CFC-11 eq.	2.68E-07	4.39E-09	1.99E-15	0.00E+00
Потенцијал ацидификације	<i>AP</i>	mol H ⁺ eq.	1.63E-01	4.99E-04	3.86E-03	0.00E+00
Потенцијал еутрофикације - слатка вода	<i>Epfr</i>	kg P eq.	2.54E-04	3.23E-05	9.24E-07	0.00E+00
Потенцијал еутрофикације - слана вода	<i>EPmar</i>	kg N eq.	3.65E-02	5.33E-04	9.94E-04	0.00E+00
Потенцијал еутрофикације - земљиште	<i>Epter</i>	Mol N eq.	4.04E-01	1.38E-03	1.09E-02	0.00E+00
Потенцијал формирања фотохемијског озона, утицај на здравље људи	<i>POCP</i>	kg NMVOC eq.	1.02E-01	3.22E-04	3.01E-03	0.00E+00
Потрошња ресурса - минералних	<i>ADPe</i>	kg Sb eq.	4.94E-05	2.55E-06	4.83E-08	0.00E+00
Потрошња ресурса - фосилних	<i>ADPf</i>	MJ	5.49E+02	1.38E+00	7.06E+00	0.00E+00
Потрошња воде	<i>WU</i>	m ³	8.75E+00	3.27E-01	5.64E-02	0.00E+00

	Ознака	Јединица	A1-A3	Б2	Ц4	Д
Индикатори потрошње ресурса						
Потрошња обновљиве енергије	<i>PERE</i>	MJ	1.64E+02	7.69E-01	9.25E-01	0.00E+00
Обновљиви ресурси искоришћени као сировине	<i>PERM</i>	MJ	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Укупна потрошња обновљивих извора енергије	<i>PERT</i>	MJ	1.64E+02	7.69E-01	9.25E-01	0.00E+00
Потрошња необновљиве енергије	<i>PENRE</i>	MJ	2.71E+02	1.38E+00	9.50E-02	0.00E+00
Необновљиви ресурси искоришћени као сировине	<i>PENRM</i>	MJ	2.79E+02	0.00E+00	6.97E+00	0.00E+00
Укупна потрошња необновљивих извора енергије	<i>PENRT</i>	MJ	5.50E+02	1.48E+00	7.06E+00	0.00E+00
Унос секундарног материјала	<i>SM</i>	kg	2.30E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Потрошња обновљивих секундарних горива	<i>RSF</i>	MJ	7.15E-12	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Потрошња необновљивих секундарних горива	<i>NRSF</i>	MJ	8.45E-11	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Потрошња чисте воде	<i>FW</i>	m ³	2.29E-01	7.61E-03	1.78E-03	0.00E+00
Излазни токови						
Компоненте за поновну употребу	<i>CRU</i>	kg	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Материјали за рециклажу	<i>MFR</i>	kg	8.59E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Материјали за повратак енергије	<i>MER</i>	kg	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Извезена електрична енергија	<i>EEE</i>	MJ	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Извезена термална енергија	<i>EET</i>	MJ	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Категорије отпада						
Одлагање штетног отпада	<i>HWD</i>	kg	1.47E-06	7.69E-11	1.08E-07	0.00E+00
Одлагање неопасног отпада	<i>NHWD</i>	kg	1.11E+00	6.47E-03	3.55E+01	0.00E+00
Одлагање радиоактивног отпада	<i>RWD</i>	kg	3.05E-02	2.84E-06	8.02E-05	0.00E+00

4.3. Минерална вуна

Табела 9.4.7. Утицаји на животну средину минералне вуне произвођача Кнауф
– подаци за прорачун основних модела

	Ознака	Јединица	A1-A3	Ц3	Ц4	Д
Индикатори утицаја на животну средину						
Потенцијал глобалног загревања - укупно	<i>GWP tot</i>	kg CO ₂ eq.	8.86E+01	0.00	9.64E-01	-2.48E+00
Потенцијал глобалног загревања - фосилно	<i>GWP f</i>	kg CO ₂ eq.	/	/	/	/
Потенцијал глобалног загревања - биогено	<i>GWP b</i>	kg CO ₂ eq.	/	/	/	/
Потенцијал глобалног загревања – коришћење земљишта	<i>GWP luc</i>	kg CO ₂ eq.	/	/	/	/
Потенцијал оштећења озонског омотача	<i>ODP</i>	kg CFC-11 eq.	1.93E-13	0.00	5.30E-15	-2.28E-12
Потенцијал ацидификације	<i>AP</i>	mol H ⁺ eq.	4.73E-01	0.00	6.18E-03	-3.12E-03
Потенцијал еутрофикације - слатка вода	<i>Epfr</i>	kg P eq.				
Потенцијал еутрофикације - слана вода	<i>EPmar</i>	kg N eq.	5.47E-02	0.00	6.97E-04	-4.47E-04
Потенцијал еутрофикације - земљиште	<i>Epter</i>	Mol N eq.				
Потенцијал формирања фотохемијског озона. утицај на здравље људи	<i>POCP</i>	kg NMVOC eq.	2.22E-02	0.00	4.65E-04	-3.24E-04
Потрошња ресурса - минералних	<i>ADPe</i>	kg Sb eq.	7.58E-05	0.00	3.72E-07	-4.28E-07
Потрошња ресурса - фосилних	<i>ADPf</i>	MJ	1.03E+03	0.00	1.37E+01	-4.22E+01
Потрошња воде	<i>WU</i>	m ³	/	/	/	/

	Ознака	Јединица	A1-A3	Ц3	Ц4	Д
Индикатори потрошње ресурса						
Потрошња обновљиве енергије	<i>PERE</i>	MJ	3.54E+01	0.00	1.84E+00	-1.87E+01
Обновљиви ресурси искоришћени као сировине	<i>PERM</i>	MJ	9.06E+01	0.00	0.00E+00	0.00E+00
Укупна потрошња обновљивих извора енергије	<i>PERT</i>	MJ	1.26E+02	0.00	1.84E+00	-1.87E+01
Потрошња необновљиве енергије	<i>PENRE</i>	MJ	1.01E+03	0.00	1.41E+01	-4.80E+01
Необновљиви ресурси искоришћени као сировине	<i>PENRM</i>	MJ	4.11E+01	0.00	0.00E+00	0.00E+00
Укупна потрошња необновљивих извора енергије	<i>PENRT</i>	MJ	1.05E+03	0.00	1.41E+01	-4.80E+01
Унос секундарног материјала	<i>SM</i>	kg	1.01E+01	0.00	0.00E+00	0.00E+00
Потрошња обновљивих секундарних горива	<i>RSF</i>	MJ	0.00E+00	0.00	0.00E+00	0.00E+00
Потрошња необновљивих секундарних горива	<i>NRSF</i>	MJ	0.00E+00	0.00	0.00E+00	0.00E+00
Потрошња чисте воде	<i>FW</i>	m ³	2.25E-01	0.00	3.55E-03	-8.85E-03
Излазни токови						
Компоненте за поновну употребу	<i>CRU</i>	kg	0.00E+00	0.00	0.00E+00	0.00E+00
Материјали за рециклажу	<i>MFR</i>	kg	0.00E+00	0.00	0.00E+00	0.00E+00
Материјали за повратак енергије	<i>MER</i>	kg	0.00E+00	0.00	0.00E+00	0.00E+00
Извезена електрична енергија	<i>EEE</i>	MJ	0.00E+00	0.00	0.00E+00	0.00E+00
Извезена термална енергија	<i>EET</i>	MJ	0.00E+00	0.00	0.00E+00	0.00E+00
Категорије отпада						
Одлагање штетног отпада	<i>HWD</i>	kg	1.52E-06	0.00	2.15E-07	-1.77E-08
Одлагање неопасног отпада	<i>NHWD</i>	kg	7.21E+00	0.00	7.08E+01	-1.76E-02
Одлагање радиоактивног отпада	<i>RWD</i>	kg	6.79E-03	0.00	1.60E-04	-2.29E-03

Табела 9.4.8. Утицаји на животну средину минералне вуне произвођача Rockwool
– подаци за прорачун оптимизованих модела

	Ознака	Јединица	A1-A3	Ц3	Ц4	Д
Индикатори утицаја на животну средину						
Потенцијал глобалног загревања - укупно	<i>GWP_{tot}</i>	kg CO ₂ eq.	— 5.28E+01	0.00E+00	6.92E-01	-3.65E+00
Потенцијал глобалног загревања - фосилно	<i>GWP_f</i>	kg CO ₂ eq.	— /	/	/	/
Потенцијал глобалног загревања - биогено	<i>GWP_b</i>	kg CO ₂ eq.	— /	/	/	/
Потенцијал глобалног загревања – коришћење земљишта	<i>GWP_{luc}</i>	kg CO ₂ eq.	— /	/	/	/
Потенцијал оштећења озонског омотача	<i>ODP</i>	kg CFC-11 eq.	6.18E-08	0.00E+00	4.04E-15	-2.35E-12
Потенцијал ацидификације	<i>AP</i>	mol H ⁺ eq.	3.66E-01	0.00E+00	4.16E-03	-1.79E-02
Потенцијал еутрофикације - слатка вода	<i>Epfr</i>	kg P eq.	—			
Потенцијал еутрофикације - слана вода	<i>EPmar</i>	kg N eq.	— 3.37E-02	0.00E+00	4.71E-04	-9.43E-04
Потенцијал еутрофикације - земљиште	<i>Epter</i>	Mol N eq.	—			
Потенцијал формирања фотохемијског озона. утицај на здравље људи	<i>POCP</i>	kg NMVOC eq.	2.19E-02	0.00E+00	3.19E-04	-1.63E-03
Потрошња ресурса - минералних	<i>ADPe</i>	kg Sb eq.	1.80E-05	0.00E+00	2.55E-07	-5.10E-07
Потрошња ресурса - фосилних	<i>ADPf</i>	MJ	5.88E+02	0.00E+00	9.69E+00	-9.34E+01
Потрошња воде	<i>WU</i>	m ³	/	/	/	/

	Ознака	Јединица	A1-A3	Ц3	Ц4	Д
Индикатори потрошње ресурса						
Потрошња обновљиве енергије	<i>PERE</i>	MJ	3.46E+01	0.00E+00	1.27E+00	-8.35E+00
Обновљиви ресурси искоришћени као сировине	<i>PERM</i>	MJ	6.05E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Укупна потрошња обновљивих извора енергије	<i>PERT</i>	MJ	9.51E+01	0.00E+00	1.27E+00	-8.35E+00
Потрошња необновљиве енергије	<i>PENRE</i>	MJ	3.23E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Необновљиви ресурси искоришћени као сировине	<i>PENRM</i>	MJ	2.93E+02	0.00E+00	1.00E+01	-9.99E+01
Укупна потрошња необновљивих извора енергије	<i>PENRT</i>	MJ	6.14E+02	0.00E+00	1.00E+01	-9.99E+01
Унос секундарног материјала	<i>SM</i>	kg	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Потрошња обновљивих секундарних горива	<i>RSF</i>	MJ	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Потрошња необновљивих секундарних горива	<i>NRSF</i>	MJ	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Потрошња чисте воде	<i>FW</i>	m ³	/	/	/	/
Излазни токови						
Компоненте за поновну употребу	<i>CRU</i>	kg	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Материјали за рециклажу	<i>MFR</i>	kg	0.00E+00	1.30E+00	0.00E+00	0.00E+00
Материјали за повратак енергије	<i>MER</i>	kg	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Извезена електрична енергија	<i>EEE</i>	MJ	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Извезена термална енергија	<i>EET</i>	MJ	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Категорије отпада						
Одлагање штетног отпада	<i>HWD</i>	kg	1.30E-05	0.00E+00	1.17E-07	1.71E-07
Одлагање неопасног отпада	<i>NHWD</i>	kg	3.36E+00	0.00E+00	1.70E-04	4.67E+01
Одлагање радиоактивног отпада	<i>RWD</i>	kg	6.01E-03	0.00E+00	2.84E-06	1.35E-04

4.4 Алуминијумски панели

Табела 9.4.9. Утицаји на животну средину алуминијумског панела Еталбонд А2
– подаци за прорачун основних модела

	Ознака	Јединица	A1-A3	Ц1	Ц3	Ц4	Д
Индикатори утицаја на животну средину							
Потенцијал глобалног загревања - укупно	<i>GWP_{tot}</i>	kg CO ₂ eq.	3.35E+01	1.28E+00	2.46E-01	7.68E-02	-1.56E+01
Потенцијал глобалног загревања - фосилно	<i>GWP_f</i>	kg CO ₂ eq.	3.29E+01	1.27E+00	2.44E-01	7.88E-02	-1.56E+01
Потенцијал глобалног загревања - биогено	<i>GWP_b</i>	kg CO ₂ eq.	5.74E-01	8.85E-03	1.51E-03	-2.29E-03	-3.30E-02
Потенцијал глобалног загревања – коришћење земљишта	<i>GWP_{luc}</i>	kg CO ₂ eq.	1.24E-02	1.98E-03	5.94E-04	2.32E-04	-2.10E-03
Потенцијал оштећења озонског омотача	<i>ODP</i>	kg CFC-11 eq.	7.21E-10	2.95E-14	7.67E-15	3.06E-16	-1.18E-10
Потенцијал ацидификације	<i>AP</i>	mol H ⁺ eq.	1.40E-01	2.74E-03	4.18E-04	5.62E-04	-9.05E-02
Еутрофикација							
Потенцијал еутрофикације - слатка вода	<i>Epfr</i>	kg P eq.	6.48E-05	3.38E-06	1.03E-06	1.32E-07	-6.73E-06
Потенцијал еутрофикације - слана вода	<i>EPmar</i>	kg N eq.	2.48E-02	6.94E-04	1.17E-04	1.46E-04	-1.24E-02
Потенцијал еутрофикације - земљиште	<i>Epter</i>	Mol N eq.	2.68E-01	7.33E-03	1.22E-03	1.60E-03	-1.36E-01
Потенцијал формирања фотохемијског озона. утицај на здравље људи	<i>POCP</i>	kg NMVOC eq.	7.44E-02	1.89E-03	2.96E-04	4.42E-04	-3.78E-02
Потрошња ресурса - минералних	<i>ADPe</i>	kg Sb eq.	1.12E-05	3.66E-07	9.26E-08	7.44E-09	-3.54E-06
Потрошња ресурса - фосилних	<i>ADPf</i>	MJ	5.15E+02	2.24E+01	3.09E+00	1.05E+00	-1.91E+02
Потрошња воде	<i>WU</i>	m ³	4.31E+00	1.98E-01	5.48E-03	8.46E-03	-2.32E+00

	Ознака	Јединица	A1-A3	Ц1	Ц3	Ц4	Д
Индикатори потрошње ресурса							
Потрошња обновљиве енергије	<i>PERE</i>	MJ	1.43E+02	1.01E+01	1.67E+00	1.41E-01	-8.79E+01
Обновљиви ресурси искоришћени као сировине	<i>PERM</i>	MJ	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Укупна потрошња обновљивих извора енергије	<i>PERT</i>	MJ	1.43E+02	1.01E+01	1.67E+00	1.41E-01	-8.79E+01
Потрошња необновљиве енергије	<i>PENRE</i>	MJ	4.60E+02	2.24E+01	3.09E+00	1.05E+00	-1.91E+02
Необновљиви ресурси искоришћени као сировине	<i>PENRM</i>	MJ	5.57E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Укупна потрошња необновљивих извора енергије	<i>PENRT</i>	MJ	5.16E+02	2.24E+01	3.09E+00	1.05E+00	-1.91E+02
Унос секундарног материјала	<i>SM</i>	kg	6.15E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Потрошња обновљивих секундарних горива	<i>RSF</i>	MJ	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Потрошња необновљивих секундарних горива	<i>NRSF</i>	MJ	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Потрошња чисте воде	<i>FW</i>	m ³	3.29E-01	9.86E-03	8.98E-04	2.58E-04	-2.22E-01
Излазни токови							
Компоненте за поновну употребу	<i>CRU</i>	kg	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Материјали за рециклажу	<i>MFR</i>	kg	1.42E-01	0.00E+00	2.53E+00	0.00E+00	0.00E+00
Материјали за повратак енергије	<i>MER</i>	kg	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Извезена електрична енергија	<i>EEE</i>	MJ	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Извезена термална енергија	<i>EET</i>	MJ	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Категорије отпада							
Одлагање штетног отпада	<i>HWD</i>	kg	3.83E-04	5.81E-09	2.40E-09	1.11E-10	-1.05E-07
Одлагање неопасног отпада	<i>NHWD</i>	kg	1.02E+01	1.56E-02	3.19E-03	5.22E+00	-4.44E+00
Одлагање радиоактивног отпада	<i>RWD</i>	kg	2.41E-02	3.26E-03	2.91E-04	1.10E-05	-1.15E-02

Табела 9.4.10. Утицаји на животну средину алуминијумског панела LarsonA2
– подаци за прорачун оптимизованих модела

	Ознака	Јединица	A1-A3	Ц1	Ц3	Ц4	Д
Индикатори утицаја на животну средину							
Потенцијал глобалног загревања - укупно	<i>GWP_{tot}</i>	kg CO ₂ eq.	1.41E+01	0.00E+00	3.63E-02	2.47E-03	-2.08E+01
Потенцијал глобалног загревања - фосилно	<i>GWP_f</i>	kg CO ₂ eq.	1.63E+01	1.00E+00	1.51E-01	2.46E-03	-2.02E+01
Потенцијал глобалног загревања - биогено	<i>GWP_b</i>	kg CO ₂ eq.	2.41E+00	2.00E+00	1.49E-01	9.15E-06	-1.70E-01
Потенцијал глобалног загревања – коришћење земљишта	<i>GWP_{luc}</i>	kg CO ₂ eq.	2.07E-01	3.00E+00	7.05E-05	6.06E-08	-3.87E-01
Потенцијал оштећења озонског омотача	<i>ODP</i>	kg CFC-11 eq.	1.18E-06	0.00E+00	1.81E-08	5.14E-10	-1.60E-06
Потенцијал ацидификације	<i>AP</i>	mol H ⁺ eq.	8.48E-02	0.00E+00	6.70E-04	2.54E-05	-1.08E-01
Потенцијал еутрофикације - слатка вода	<i>Epfr</i>	kg P eq.	5.58E-04	0.00E+00	4.39E-06	8.88E-09	-8.63E-04
Потенцијал еутрофикације - слана вода	<i>EPmar</i>	kg N eq.	1.30E-02	1.00E+00	2.99E-04	1.10E-05	-1.21E-02
Потенцијал еутрофикације - земљиште	<i>Epter</i>	Mol N eq.	1.45E-01	0.00E+00	2.49E-03	1.21E-04	-1.35E-01
Потенцијал формирања фото-хемијског озона. утицај на здравље људи	<i>POCP</i>	kg NMVOC eq.	4.98E-02	0.00E+00	6.84E-04	3.37E-05	-5.26E-02
Потрошња ресурса - минералних	<i>ADPe</i>	kg Sb eq.	6.95E-07	0.00E+00	4.67E-09	1.14E-10	-1.13E-06
Потрошња ресурса - фосилних	<i>ADPf</i>	MJ	2.09E+02	0.00E+00	1.71E+00	3.28E-02	-2.60E+02
Потрошња воде	<i>WU</i>	m ³	2.53E+00	0.00E+00	8.94E-03	1.16E-05	-3.87E-01

	Ознака	Јединица	A1-A3	Ц1	Ц3	Ц4	Д
Индикатори потрошње ресурса							
Потрошња обновљиве енергије	<i>PERE</i>	MJ	8.76E+01	0.00E+00	1.11E-01	1.42E-04	-1.02E+02
Обновљиви ресурси искоришћени као сировине	<i>PERM</i>	MJ	2.03E+01	0.00E+00	3.45E-02	3.59E-05	-3.43E+01
Укупна потрошња обновљивих извора енергије	<i>PERT</i>	MJ	1.08E+02	0.00E+00	1.43E-01	1.76E-04	-1.36E+02
Потрошња необновљиве енергије	<i>PENRE</i>	MJ	2.20E+02	0.00E+00	1.83E+00	3.54E-02	-2.74E+02
Необновљиви ресурси искоришћени као сировине	<i>PENRM</i>	MJ	2.09E+01	0.00E+00	2.12E-03	1.56E-05	-2.85E+01
Укупна потрошња необновљивих извора енергије	<i>PENRT</i>	MJ	2.41E+02	0.00E+00	1.83E+00	3.54E-02	-3.03E+02
Унос секундарног материјала	<i>SM</i>	kg	1.46E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Потрошња обновљивих секундарних горива	<i>RSF</i>	MJ	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Потрошња необновљивих секундарних горива	<i>NRSF</i>	MJ	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Потрошња чисте воде	<i>FW</i>	m ³	2.53E+00	0.00E+00	8.94E-03	1.16E-05	-3.87E-01
Излазни токови							
Компоненте за поновну употребу	<i>CRU</i>	kg	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Материјали за рециклажу	<i>MFR</i>	kg	0.00E+00	0.00E+00	9.12E+00	0.00E+00	0.00E+00
Материјали за повратак енергије	<i>MER</i>	kg	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Извезена електрична енергија	<i>EEE</i>	MJ	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Извезена термална енергија	<i>EET</i>	MJ	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Категорије отпада							
Одлагање штетног отпада	<i>HWD</i>	kg	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Одлагање неопасног отпада	<i>NHWD</i>	kg	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Одлагање радиоактивног отпада	<i>RWD</i>	kg	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

ПРИЛОГ 5. Детаљни приказ резултата прорачуна за фасадни сегмент основних и оптимизованих модела

У прилогу су приказани резултати прорачуна уграђене количине материјала, индикатора циркуларног потенцијала, индекса демонтаже и утицаја на животну средину за фасадни сегмент основних модела и њихових оптимизованих варијанти.

Основни модел:	МА
Оптимизовани модели:	ОАар
	ОАас
	ОА-1
	ОА-2.1
	ОА-2.2
	ОА-2.3

Основни модел:	МВ
Оптимизовани модели:	ОВа
	ОВ-1
	ОВ-2.1
	ОВ-2.2
	ОВ-2.3
	ОВ-2.4

Опис фасадног сегмента	Бр. поља	Висина	Ширина
Транспарентна поља (ТП)	18	3m	1.25m
Поља испуне (ПИ)	18	1m	1.25m

Резултати прорачуна за 1 циклус

Компонента	Опис производа	MFA				Животни век	MCI и D	
		Количина материјала (kg)	Удео у маси (%)	Уграђени секундарни мат. (kg)	Мат. за даљу употребу (kg)		MCI укупно 0.34	MCI фаза изградње 0.05
AL-профили (ТП+ПИ)	Алуминијум ЕРЕА	701	13.4	280.3	673	25-30	0.758	MCI фаза
Стаклени панел (ТП)	DGU 66.2-16-8 P	3375	64.7	0	0	25-30	0.28	употребе
Стаклени панел (ПИ)	DGU 8t-16-6 P	768	14.7	0	0	25-30	0.28	1.25
Термоизолација (ПИ)	Минерална вуна К	220	4.2	4.4	4	25-30	0.294	MCI крај
Вежа	Силикон	50	1.0	0	0	25-30	0.28	жив. века
Заптивка	EPDM	105	2.0	0	0	25-30	0.28	0.12
Укупно		5,219.0	100	284.7	677.0		D	0.15

Прорачун за животни век од 50 година = 2 животна циклуса свих материјала фасадног омотача

Резултати прорачуна LCA	Ознака	Јединица	A1-A3	B1- B5	Ц1- Ц4	Σ А-Ц	Д	Σ А-Д
Потенцијал глобалног загревања Σ	<i>GWP tot</i>	kg CO ₂ eq.	1.44E+04	1.51E+04	7.22E+02	3.02E+04	-5.47E+03	2.48E+04
Потенцијал ацидификације	<i>AP</i>	mol H ⁺ eq.	5.73E+01	5.79E+01	5.30E-01	1.16E+02	-1.81E+01	9.76E+01
Еутрофикација - слатка вода	<i>Epfr</i>	kg PO ₄ eq.	2.54E-01	2.75E-01	1.50E-02	5.44E-01	-6.00E-02	4.84E-01
Формирање фото- хемијског озона	<i>POCP</i>	kg NMVOC eq.	3.30E+01	3.30E+01	3.56E-01	6.64E+01	-9.00E+00	5.74E+01
Потрошња ресурса - минералних	<i>ADPe</i>	kg Sb eq.	5.00E-03	6.00E-03	9.00E-06	1.10E-02	-2.68E-04	1.07E-02
Потрошња ресурса - фосилних	<i>ADPf</i>	MJ	2.03E+05	2.04E+05	9.92E+02	4.08E+05	-7.34E+04	3.34E+05
Укупна потрошња обновљивих и.е.	<i>PERT</i>	MJ	4.70E+04	4.73E+04	1.44E+02	9.45E+04	-2.42E+04	7.03E+04
Укупна потрошња необновљивих и.е.	<i>PENRT</i>	MJ	2.04E+05	2.05E+05	1.00E+03	4.10E+05	-7.40E+04	3.36E+05
Штетни отпад	<i>HWD</i>	kg	1.90E+01	1.90E+01	1.40E-05	3.80E+01	-2.90E-05	3.80E+01
Неопасни отпад	<i>NHWD</i>	kg	1.95E+03	6.36E+03	4.42E+03	1.27E+04	-1.18E+03	1.16E+04
Радиоактивни отпад	<i>RWD</i>	kg	8.00E+00	8.00E+00	1.00E-02	1.60E+01	-3.00E+00	1.30E+01

Корак 1: Истраживање оптимизације материјала у Моделу А

ОАар

Опис фасадног сегмента	Бр. поља	Висина	Ширина
Транспарентна поља (ТП)	18	3m	1.25m
Поља испуне (ПИ)	18	1m	1.25m

Резултати прорачуна за 1 циклус

Компонента	Опис производа	MFA				Животни век	MCI и D	
		Количина материјала (kg)	Удео у маси (%)	Уграђени секундарни мат. (kg)	Мат. за даљу употребу (kg)		MCI укупно 0.53	MCI фаза изградње 0.55
AL-профили (ТП+ПИ)	Алуминијум Н.Р.	701	13.4	694	673	25-30	0.972	MCI фаза
Стаклени панел (ТП)	DGU 66.2-16-8 O	3375	64.7	1690	0	25-30	0.458	употребе
Стаклени панел (ПИ)	DGU 8t-16-6 O	768	14.7	384	0	25-30	0.458	1.26
Термоизолација (ПИ)	Минерална вуна RW	220	4.2	81	110	25-30	0.655	MCI крај
Вежа	Силикон	50	1.0	0	0	25-30	0.28	жив. века
Заптивка	EPDM	105	2.0	0	0	25-30	0.28	0.14
Укупно		5,219.0	100	2,849.0	783.0		D	0.15

Прорачун за животни век од 50 година = 2 животна циклуса свих материјала фасадног омотача

Резултати прорачуна LCA	Ознака	Јединица	A1-A3	B1- B5	Ц1- Ц4	Σ A-Ц	Д	Σ A-Д
Потенцијал глобалног загревања Σ	<i>GWP tot</i>	kg CO ₂ eq.	8.06E+03	8.84E+03	7.52E+02	1.77E+04	-5.62E+03	1.20E+04
Потенцијал ацидификације	<i>AP</i>	mol H ⁺ eq.	3.90E+01	3.88E+01	6.10E-01	7.85E+01	-3.08E+01	4.76E+01
Еутрофикација - слатка вода	<i>Epfr</i>	kg PO ₄ eq.	2.56E-01	2.76E-01	1.40E-02	5.46E-01	-6.20E-02	4.84E-01
Формирање фото- хемијског озона	<i>POCP</i>	kg NMVOC eq.	2.10E+01	2.20E+01	4.30E-01	4.34E+01	-1.30E+01	3.04E+01
Потрошња ресурса - минералних	<i>ADPe</i>	kg Sb eq.	9.00E-03	1.00E-02	1.30E-08	1.90E-02	-1.00E-03	1.80E-02
Потрошња ресурса - фосилних	<i>ADP_f</i>	MJ	1.31E+05	1.33E+05	1.35E+03	2.65E+05	-6.93E+04	1.96E+05
Укупна потрошња обновљивих и.е.	<i>PERT</i>	MJ	6.72E+04	6.76E+04	2.84E+02	1.35E+05	-3.07E+04	1.04E+05
Укупна потрошња необновљивих и.е.	<i>PENRT</i>	MJ	1.31E+05	1.33E+05	1.37E+03	2.65E+05	-6.99E+04	1.95E+05
Штетни отпад	<i>HWD</i>	kg	2.10E+01	2.10E+01	1.30E-05	4.20E+01	-4.70E-05	4.20E+01
Неопасни отпад	<i>NHWD</i>	kg	2.66E+03	6.92E+03	4.26E+03	1.38E+04	-1.43E+03	1.24E+04
Радиоактивни отпад	<i>RWD</i>	kg	1.30E+01	1.30E+01	4.80E-02	2.60E+01	-4.00E+00	2.20E+01

Корак 1: Истраживање оптимизације материјала у Моделу А

ОАас

Опис фасадног сегмента	Бр. поља	Висина	Ширина
Транспарентна поља (ТП)	18	3m	1.25m
Поља испуне (ПИ)	18	1m	1.25m

Резултати прорачуна за 1 циклус

Компонента	Опис производа	MFA				Животни век	MCI и D	
		Количина материјала (kg)	Удео у маси (%)	Уграђени секундарни мат. (kg)	Мат. за даљу употребу (kg)		MCI укупно 0.53	MCI фаза изградње 0.55
AL-профили (ТП+ПИ)	Алуминијум Н.С.	701	13.4	701	673	25-30	0.977	MCI фаза
Стаклени панел (ТП)	DGU 66.2-16-8 O	3375	64.7	1690	0	25-30	0.458	употребе
Стаклени панел (ПИ)	DGU 8t-16-6 O	768	14.7	384	0	25-30	0.458	1.26
Термоизолација (ПИ)	Минерална вуна RW	220	4.2	81	110	25-30	0.655	MCI крај
Вежа	Силикон	50	1.0	0	0	25-30	0.28	жив. века
Заптивка	EPDM	105	2.0	0	0	25-30	0.28	0.14
Укупно		5,219.0	100	2,856.0	783.0		D	0.15

Прорачун за животни век од 50 година = 2 животна циклуса свих материјала фасадног омотача

Резултати прорачуна LCA	Ознака	Јединица	A1-A3	B1- B5	Ц1- Ц4	Σ A-Ц	D	Σ A-D
Потенцијал глобалног загревања Σ	GWP tot	kg CO ₂ eq.	7.24E+03	8.02E+03	7.52E+02	1.60E+04	-1.31E+03	1.47E+04
Потенцијал ацидификације	AP	mol H ⁺ eq.	4.06E+01	4.05E+01	6.10E-01	8.17E+01	-5.82E+00	7.59E+01
Еутрофикација - слатка вода	Epfr	kg PO ₄ eq.	3.09E-01	3.29E-01	1.40E-02	6.52E-01	-6.10E-02	5.91E-01
Формирање фото- хемијског озона	POCP	kg NMVOC eq.	2.10E+01	2.10E+01	4.30E-01	4.24E+01	-2.00E+00	4.04E+01
Потрошња ресурса - минералних	ADPe	kg Sb eq.	1.70E-02	1.80E-02	1.30E-05	3.50E-02	-3.01E-04	3.47E-02
Потрошња ресурса - фосилних	ADPf	MJ	1.26E+05	1.27E+05	1.35E+03	2.54E+05	-1.65E+04	2.38E+05
Укупна потрошња обновљивих и.е.	PERT	MJ	3.19E+04	3.23E+04	2.83E+02	6.45E+04	-6.75E+03	5.78E+04
Укупна потрошња необновљивих и.е.	PENRT	MJ	1.26E+05	1.28E+05	1.37E+03	2.56E+05	-1.70E+04	2.39E+05
Штетни отпад	HWD	kg	5.00E+00	5.00E+00	1.30E-05	1.00E+01	-1.00E-05	1.00E+01
Неопасни отпад	NHWD	kg	2.29E+03	6.54E+03	4.26E+03	1.31E+04	-1.37E+02	1.30E+04
Радиоактивни отпад	RWD	kg	1.30E+01	1.30E+01	4.80E-02	2.60E+01	-6.86E-01	2.54E+01

Корак 2: Оптимизација демонтаже и животног века елемената и компоненти Модела А

ОА-1

Опис фасадног сегмента	Бр. поља	Висина	Ширина
Транспарентна поља (ТП)	18	3m	1.25m
Поља испуне (ПИ)	18	1m	1.25m

Резултати прорачуна за 1 циклус

Компонента	Опис производа	MFA				Животни век	MCI и D	
		Количина материјала (kg)	Удео у маси (%)	Уграђени секундарни мат. (kg)	Мат. за даљу употребу (kg)		MCI укупно 0.55	MCI фаза изградње
AL-профили (ТП+ПИ)	Алуминијум Н.С.	808	15.2	808	776	50	0.988	MCI фаза
Стаклени панел (ТП)	DGU 66.2-16-8 O	3375	63.4	1690	0	25-30	0.458	употребе
Стаклени панел (ПИ)	DGU 8t-16-6 O	768	14.4	384	0	25-30	0.458	1.49
Термоизолација (ПИ)	Минерална вуна RW	220	4.1	81	110	50	0.793	MCI крај
Вежа	Силикон	50	0.9	0	0	25-30	0.28	жив. века
Заптивка	EPDM	105	2.0	0	0	25-30	0.28	0.16
Укупно		5,326.0	100	2,963.0	886.0		D	0.34

Прорачун за животног век од 50 година = 2 животна циклуса стакло и заптивке, 1 циклус алуминијум и изолација

Резултати прорачуна LCA	Ознака	Јединица	A1-A3	B1- B5	Ц1- Ц4	Σ А-Ц	Д	Σ А-Д
Потенцијал глобалног загревања Σ	<i>GWP tot</i>	kg CO ₂ eq.	7.62E+03	5.29E+03	7.45E+02	1.37E+04	-1.45E+03	1.22E+04
Потенцијал ацидификације	<i>AP</i>	mol H ⁺ eq.	4.39E+01	1.90E+01	5.70E-01	6.34E+01	-6.65E+00	5.68E+01
Еутрофикација - слатка вода	<i>Epfr</i>	kg PO ₄ eq.	3.26E-01	1.12E-01	1.40E-02	4.52E-01	-6.10E-02	3.91E-01
Формирање фото- хемијског озона	<i>POCP</i>	kg NMVOC eq.	2.20E+01	1.20E+01	3.83E-01	3.44E+01	-3.00E+00	3.14E+01
Потрошња ресурса - минералних	<i>ADPe</i>	kg Sb eq.	1.90E-02	5.00E-03	1.30E-05	2.40E-02	-3.34E-04	2.37E-02
Потрошња ресурса - фосилних	<i>ADPf</i>	MJ	1.34E+05	7.10E+04	1.27E+03	2.06E+05	-1.83E+04	1.88E+05
Укупна потрошња обновљивих и.е.	<i>PERT</i>	MJ	3.49E+04	1.26E+04	2.97E+02	4.77E+04	-7.54E+03	4.02E+04
Укупна потрошња необновљивих и.е.	<i>PENRT</i>	MJ	1.35E+05	7.16E+04	1.20E+03	2.07E+05	-1.88E+04	1.89E+05
Штетни отпад	<i>HWD</i>	kg	6.00E+00	1.62E-04	1.30E-05	6.00E+00	-1.20E-05	6.00E+00
Неопасни отпад	<i>NHWD</i>	kg	2.62E+03	4.29E+03	4.27E+03	1.12E+04	-1.80E+02	1.10E+04
Радиоактивни отпад	<i>RWD</i>	kg	1.40E+01	2.00E+00	5.40E-02	1.61E+01	-7.90E-01	1.53E+01

Корак 3: Оптимизација димензија фасадних поља (редукција бр. компоненти) Модела А

ОА-2.1

Опис фасадног сегмента	Бр. поља	Висина	Ширина
Транспарентна поља (ТП)	15	3m	1.50m
Поља испуне (ПИ)	15	1m	1.50m

Резултати прорачуна за 1 циклус		MFA				Животни век	MCI и D	
Компонента	Опис производа	Количина материјала (kg)	Удео у маси (%)	Уграђени секундарни мат. (kg)	Мат. за даљу употребу (kg)		MCI укупно 0.54	MCI фаза изградње 0.55
AL-профили (ТП+ПИ)	Алуминијум Н.С.	719	13.7	719	690	50	0.988	MCI фаза
Стаклени панел (ТП)	DGU 66.2-16-8 O	3380	64.6	1700	0	25-30	0.458	употребе
Стаклени панел (ПИ)	DGU 8t-16-6 O	769	14.7	385	0	25-30	0.458	1.47
Термоизолација (ПИ)	Минерална вуна RW	221	4.2	82	110	50	0.793	MCI крај
Веза	Силикон	50	1.0	0	0	25-30	0.28	жив. века
Заптивка	EPDM	95	1.8	0	0	25-30	0.28	0.15
Укупно		5,234.0	100	2,886.0	800.0		D	0.34

Прорачун за животни век од 50 година = 2 животна циклуса стакло и заптивке, 1 циклус алуминијум и изолација

Резултати прорачуна LCA	Ознака	Јединица	A1-A3	B1- B5	Ц1- Ц4	Σ А-Ц	Д	Σ А-Д
Потенцијал глобалног загревања Σ	<i>GWP tot</i>	kg CO ₂ eq.	7.43E+03	4.54E+03	5.46E+02	1.25E+04	-1.85E+03	1.07E+04
Потенцијал ацидификације	<i>AP</i>	mol H ⁺ eq.	4.31E+01	1.59E+01	4.80E-01	5.95E+01	-9.04E+00	5.04E+01
Еутрофикација - слатка вода	<i>Epfr</i>	kg PO ₄ eq.	3.06E-01	1.05E-01	1.30E-02	4.24E-01	5.50E-02	4.79E-01
Формирање фото- хемијског озона	<i>POCP</i>	kg NMVOC eq.	2.20E+01	1.00E+01	3.31E-01	3.23E+01	-4.00E+00	2.83E+01
Потрошња ресурса - минералних	<i>ADPe</i>	kg Sb eq.	1.80E-02	4.00E-03	1.10E-05	2.20E-02	-3.41E-04	2.17E-02
Потрошња ресурса - фосилних	<i>ADPf</i>	MJ	1.31E+05	6.27E+04	1.12E+03	1.95E+05	-2.34E+04	1.72E+05
Укупна потрошња обновљивих и.е.	<i>PERT</i>	MJ	3.43E+04	9.28E+03	3.08E+02	4.39E+04	-1.03E+04	3.36E+04
Укупна потрошња необновљивих и.е.	<i>PENRT</i>	MJ	1.32E+05	6.32E+04	1.23E+03	1.97E+05	-2.46E+04	1.72E+05
Штетни отпад	<i>HWD</i>	kg	6.00E+00	1.25E-04	1.10E-05	6.00E+00	-1.10E-05	6.00E+00
Неопасни отпад	<i>NHWD</i>	kg	2.34E+03	4.30E+03	4.27E+03	1.09E+04	-1.43E+02	1.08E+04
Радиоактивни отпад	<i>RWD</i>	kg	1.40E+01	1.00E+00	5.20E-02	1.51E+01	-8.02E-01	1.43E+01

Корак 3: Оптимизација димензија фасадних поља (редукција бр. компоненти) Модела А

ОА-2.2

Опис фасадног сегмента	Бр. поља	Висина	Ширина
Транспарентна поља (ТП)	12	3m	1.875m
Поља испуне (ПИ)	12	1m	1.875m

Резултати прорачуна за 1 циклус

Компонента	Опис производа	MFA				Животни век	MCI и D	
		Количина материјала (kg)	Удео у маси (%)	Уграђени секундарни мат. (kg)	Мат. за даљу употребу (kg)		MCI укупно 0.53	MCI фаза изградње
AL-профили (ТП+ПИ)	Алуминијум Н.С.	629	12.2	629	604	50	0.988	MCI фаза
Стаклени панел (ТП)	DGU 66.2-16-8 O	3390	65.9	1692	0	25-30	0.458	употребе
Стаклени панел (ПИ)	DGU 8t-16-6 O	771	15.0	385	0	25-30	0.458	1.46
Термоизолација (ПИ)	Минерална вуна RW	222	4.3	82	111	50	0.793	MCI крај
Веза	Силикон	50	1.0	0	0	25-30	0.28	жив. века
Заптивка	EPDM	84	1.6	0	0	25-30	0.28	0.13
Укупно		5,146.0	100	2,788.0	715.0		D	0.33

Прорачун за животни век од 50 година = 2 животна циклуса стакло и заптивке, 1 циклус алуминијум и изолација

Резултати прорачуна LCA	Ознака	Јединица	A1-A3	B1- B5	Ц1- Ц4	Σ A-Ц	Д	Σ A-Д
Потенцијал глобалног загревања Σ	<i>GWP tot</i>	kg CO ₂ eq.	6.93E+03	5.11E+03	6.09E+02	1.26E+04	-1.14E+03	1.15E+04
Потенцијал ацидификације	<i>AP</i>	mol H ⁺ eq.	3.85E+01	1.90E+01	5.50E-01	5.80E+01	-5.20E+00	5.28E+01
Еутрофикација - слатка вода	<i>Epfr</i>	kg PO ₄ eq.	2.86E-01	9.70E-02	1.20E-02	3.95E-01	-4.90E-02	3.46E-01
Формирање фото- хемијског озона	<i>POCP</i>	kg NMVOC eq.	2.00E+01	1.20E+01	3.78E-01	3.24E+01	-2.00E+00	3.04E+01
Потрошња ресурса - минералних	<i>ADPe</i>	kg Sb eq.	1.60E-02	5.00E-03	1.10E-05	2.10E-02	-2.62E-04	2.07E-02
Потрошња ресурса - фосилних	<i>ADPf</i>	MJ	1.18E+05	6.92E+04	1.19E+03	1.89E+05	-1.44E+04	1.74E+05
Укупна потрошња обновљивих и.е.	<i>PERT</i>	MJ	2.98E+04	1.24E+04	2.58E+02	4.24E+04	-5.91E+03	3.65E+04
Укупна потрошња необновљивих и.е.	<i>PENRT</i>	MJ	1.19E+05	6.97E+04	1.20E+03	1.90E+05	-1.48E+04	1.75E+05
Штетни отпад	<i>HWD</i>	kg	4.00E+00	1.30E-05	1.30E-05	4.00E+00	-9.00E-06	4.00E+00
Неопасни отпад	<i>NHWD</i>	kg	2.06E+03	4.31E+03	4.27E+03	1.06E+04	-1.06E+02	1.05E+04
Радиоактивни отпад	<i>RWD</i>	kg	1.20E+01	2.00E+00	4.40E-02	1.40E+01	-6.16E-01	1.34E+01

Корак 3: Оптимизација димензија фасадних поља (редукција бр. компоненти) Модела А

ОА-2.3

Опис фасадног сегмента	Бр. поља	Висина	Ширина						
Транспарентна поља (ТП)	9	3m	1.25m	и	6	3m	1.875m		
Поља испуне (ПИ)	9	1m	1.25m		6	1m	1.875m		

Резултати прорачуна за 1 циклус		MFA				Животни век	MCI и D	
Компонента	Опис производа	Количина материјала (kg)	Удео у маси (%)	Уграђени секундарни мат. (kg)	Мат. за даљу употребу (kg)		MCI укупно 0.54	MCI фаза изградње
AL-профили (ТП+ПИ)	Алуминијум Н.С.	719	13.7	719	690	50	0.988	MCI фаза
Стаклени панел (ТП)	DGU 66.2-16-8 O	3380	64.6	1690	0	25-30	0.458	употребе
Стаклени панел (ПИ)	DGU 8t-16-6 O	769	14.7	385	0	25-30	0.458	1.47
Термоизолација (ПИ)	Минерална вуна RW	221	4.2	82	110	50	0.793	MCI крај
Веза	Силикон	50	1.0	0	0	25-30	0.28	жив. века
Заптивка	EPDM	95	1.8	0	0	25-30	0.28	0.15
Укупно		5,234.0	100	2,876.0	800.0		D	0.34

Прорачун за животни век од 50 година = 2 животна циклуса стакло и заптивке, 1 циклус алуминијум и изолација

Резултати прорачуна LCA	Ознака	Јединица	A1-A3	B1- B5	Ц1- Ц4	Σ A-Ц	Д	Σ A-Д
Потенцијал глобалног загревања Σ	<i>GWP tot</i>	kg CO ₂ eq.	7.28E+03	5.20E+03	6.79E+02	1.32E+04	-1.30E+03	1.19E+04
Потенцијал ацидификације	<i>AP</i>	mol H+ eq.	4.12E+01	1.90E+01	5.60E-01	6.07E+01	-5.93E+00	5.48E+01
Еутрофикација - слатка вода	<i>Epfr</i>	kg PO ₄ eq.	3.06E-01	1.05E-01	1.30E-02	4.24E-01	-5.50E-02	3.69E-01
Формирање фото- хемијског озона	<i>POCP</i>	kg NMVOC eq.	2.10E+01	1.20E+01	3.81E-01	3.34E+01	-2.00E+00	3.14E+01
Потрошња ресурса - минералних	<i>ADPe</i>	kg Sb eq.	1.80E-02	5.00E-03	1.20E-05	2.30E-02	-2.89E-04	2.27E-02
Потрошња ресурса - фосилних	<i>ADPf</i>	MJ	1.26E+05	7.02E+04	1.23E+03	1.98E+05	-1.64E+04	1.81E+05
Укупна потрошња обновљивих и.е.	<i>PERT</i>	MJ	3.23E+04	1.25E+04	2.77E+02	4.51E+04	-6.73E+03	3.83E+04
Укупна потрошња необновљивих и.е.	<i>PENRT</i>	MJ	1.27E+05	7.07E+04	1.24E+03	1.99E+05	-1.68E+04	1.82E+05
Штетни отпад	<i>HWD</i>	kg	5.00E+00	1.62E-04	1.30E-05	5.00E+00	-1.00E-05	5.00E+00
Неопасни отпад	<i>NHWD</i>	kg	2.34E+03	4.30E+03	4.27E+03	1.09E+04	-1.43E+02	1.08E+04
Радиоактивни отпад	<i>RWD</i>	kg	1.30E+01	2.00E+00	4.90E-02	1.50E+01	-7.03E-01	1.43E+01

Опис фасадног сегмента	Бр. поља	Висина	Ширина
Транспарентна поља (ТП)	18	3m	1.25m
Поља испуне (ПИ)	18	1m	1.25m

Резултати прорачуна за 1 циклус

Компонента	Опис производа	MFA				Животни век	MCI и D	
		Количина материјала (kg)	Удео у маси (%)	Уграђени секундарни мат. (kg)	Мат. за даљу употребу (kg)		MCI укупно 0.40	MCI фаза изградње 0.1
AL-профили (ТП+ПИ)	Алуминијум ЕРЕА	1003	20.5	401	963	25-30	0.758	MCI фаза
Стаклени панел (ТП)	DGU 66.2-16-8 P	3332	68.2	0	0	25-30	0.28	употребе
AL-панел (ПИ)	Алуминијум Е	170	3.5	68	161	25-30	0.755	1.25
Термоизолација (ПИ)	Минерална вуна К	220	4.5	4.4	5	25-30	0.294	MCI крај
Термички прекид	РА 66	70	1.4	0	0	25-30	0.28	жив. века
Заптивка	EPDM	94	1.9	0	0	25-30	0.28	0.22
Укупно		4,889.0	100	473.4	1,129.0		D	0.52

Прорачун за животни век од 50 година = 2 животна циклуса свих материјала фасадног омотача

Резултати прорачуна LCA	Ознака	Јединица	A1-A3	B1- B5	Ц1- Ц4	Σ A-Ц	Д	Σ A-Д
Потенцијал глобалног загревања Σ	<i>GWP tot</i>	kg CO ₂ eq.	1.75E+04	1.82E+04	6.72E+02	3.64E+04	-8.02E+03	2.84E+04
Потенцијал ацидификације	<i>AP</i>	mol H ⁺ eq.	6.60E+01	6.66E+01	5.20E-01	1.33E+02	-2.78E+01	1.05E+02
Еутрофикација - слатка вода	<i>Epfr</i>	kg PO ₄ eq.	2.47E-01	2.65E-01	1.30E-02	5.25E-01	-5.50E-02	4.70E-01
Формирање фото- хемијског озона	<i>POCP</i>	kg NMVOC eq.	3.70E+01	3.80E+01	3.44E-01	7.53E+01	-1.40E+01	6.13E+01
Потрошња ресурса - минералних	<i>ADPe</i>	kg Sb eq.	4.00E-03	5.00E-03	1.70E-05	9.02E-03	-4.19E-07	9.02E-03
Потрошња ресурса - фосилних	<i>ADPf</i>	MJ	2.48E+05	2.49E+05	1.39E+03	4.99E+05	-1.07E+05	3.91E+05
Укупна потрошња обновљивих и.е.	<i>PERT</i>	MJ	6.22E+04	6.27E+04	4.19E+02	1.25E+05	-3.59E+04	8.93E+04
Укупна потрошња необновљивих и.е.	<i>PENRT</i>	MJ	2.49E+05	2.51E+05	1.52E+03	5.02E+05	-1.08E+05	3.94E+05
Штетни отпад	<i>HWD</i>	kg	2.80E+01	2.80E+01	1.10E-05	5.60E+01	-4.20E-05	5.60E+01
Неопасни отпад	<i>NHWD</i>	kg	2.86E+03	6.58E+03	3.72E+03	1.32E+04	-1.78E+03	1.14E+04
Радиоактивни отпад	<i>RWD</i>	kg	1.00E+01	1.00E+01	8.50E-02	2.01E+01	-4.00E+00	1.61E+01

Корак 1: Истраживање оптимизације материјала у Моделу В

ОВа

Опис фасадног сегмента	Бр. поља	Висина	Ширина
Транспарентна поља (ТП)	18	3m	1.25m
Поља испуне (ПИ)	18	1m	1.25m

Резултати прорачуна за 1 циклус

Компонента	Опис производа	MFA				Животни век	MCI и D	
		Количина материјала (kg)	Удео у маси (%)	Уграђени секундарни мат. (kg)	Мат. за даљу употребу (kg)		MCI укупно 0.58	MCI фаза изградње
AL-профили (ТП+ПИ)	Алуминијум Н.С.	1003	20.5	1003	963	25-30	0.977	MCI фаза
Стаклени панел (ТП)	DGU 66.2-16-8 O	3332	68.2	1670	0	25-30	0.458	употребе
AL-панел (ПИ)	Алуминијум L	167	3.4	92	166	25-30	0.823	1.26
Термоизолација (ПИ)	Минерална вуна RW	220	4.5	81	110	25-30	0.655	MCI крај
Термички прекид	РА 66	70	1.4	0	0	25-30	0.28	жив. века
Заптивка	EPDM	94	1.9	0	0	25-30	0.28	0.24
Укупно		4,886.0	100	2,846.0	1,239.0		D	0.52

Прорачун за животни век од 50 година = 2 животна циклуса свих материјала фасадног омотача

Резултати прорачуна LCA	Ознака	Јединица	A1-A3	B1- B5	Ц1- Ц4	Σ A-Ц	D	Σ A-D
Потенцијал глобалног загревања Σ	<i>GWP tot</i>	kg CO ₂ eq.	8.23E+03	8.94E+03	6.83E+02	1.79E+04	-2.17E+03	1.57E+04
Потенцијал ацидификације	<i>AP</i>	mol H+ eq.	4.88E+01	4.98E+01	5.70E-01	9.92E+01	-1.05E+01	8.87E+01
Еутрофикација - слатка вода	<i>Epfr</i>	kg PO ₄ eq.	4.96E-01	5.17E-01	1.60E-02	1.03E+00	-2.24E-01	8.05E-01
Формирање фото- хемијског озона	<i>POCP</i>	kg NMVOC eq.	2.40E+01	2.50E+01	4.08E-01	4.94E+01	-5.00E+00	4.44E+01
Потрошња ресурса - минералних	<i>ADPe</i>	kg Sb eq.	2.10E-02	2.20E-02	1.30E-05	4.30E-02	-4.14E-04	4.26E-02
Потрошња ресурса - фосилних	<i>ADPf</i>	MJ	1.49E+05	1.50E+05	1.38E+03	3.01E+05	-2.74E+04	2.73E+05
Укупна потрошња обновљивих и.е.	<i>PERT</i>	MJ	3.97E+04	4.01E+04	3.67E+02	8.02E+04	-1.20E+04	6.82E+04
Укупна потрошња необновљивих и.е.	<i>PENRT</i>	MJ	1.50E+05	1.52E+05	1.52E+03	3.03E+05	-2.87E+04	2.75E+05
Штетни отпад	<i>HWD</i>	kg	7.00E+00	7.00E+00	1.10E-05	1.40E+01	-1.40E-05	1.40E+01
Неопасни отпад	<i>NHWD</i>	kg	3.21E+03	6.68E+03	3.48E+03	1.34E+04	-2.59E+02	1.31E+04
Радиоактивни отпад	<i>RWD</i>	kg	1.70E+01	1.70E+01	6.30E-02	3.41E+01	-9.82E-01	3.31E+01

Корак 2 : Оптимизација демонтаже и животног века елемената и компоненти Модела В

OB-1

Опис фасадног сегмента	Бр. поља	Висина	Ширина
Транспарентна поља (ТП)	18	3m	1.25m
Поља испуне (ПИ)	18	1m	1.25m

Резултати прорачуна за 1 циклус

Компонента	Опис производа	MFA				Животни век	MCI и D	
		Количина материјала (kg)	Удео у маси (%)	Уграђени секундарни мат. (kg)	Мат. за даљу употребу (kg)		MCI укупно 0.59	MCI фаза изградње 0.58
AL-профили (ТП+ПИ)	Алуминијум Н.С.	1003	20.5	1003	963	50	0.988	MCI фаза
Стаклени панел (ТП)	DGU 66.2-16-8 O	3332	68.2	1670	0	25-30	0.458	употребе
AL-панел (ПИ)	Алуминијум L	167	3.4	92	166	50	0.912	1.61
Термоизолација (ПИ)	Минерална вуна RW	220	4.5	81	110	50	0.793	MCI крај
Термички прекид	PA 66	70	1.4	0	0	25-30	0.28	жив. века
Заптивка	EPDM	94	1.9	0	0	25-30	0.28	0.24
Укупно		4,886.0	100	2,846.0	1,239.0		D	0.52

Прорачун за животног век од 50 година = 2 животног циклуса стакло и заптивке, 1 циклус алуминијум и изолација

Резултати прорачуна LCA	Ознака	Јединица	A1-A3	B1- B5	C1- C4	Σ A-C	D	Σ A-D
Потенцијал глобалног загревања Σ	GWP tot	kg CO ₂ eq.	8.23E+03	4.80E+03	6.70E+02	1.37E+04	-2.17E+03	1.15E+04
Потенцијал ацидификације	AP	mol H+ eq.	4.88E+01	1.61E+01	5.00E-01	6.54E+01	-1.05E+01	5.49E+01
Еутрофикација - слатка вода	Epfr	kg PO ₄ eq.	4.96E-01	9.60E-02	1.60E-02	6.08E-01	-2.24E-01	3.84E-01
Формирање фото- хемијског озона	POCP	kg NMVOC eq.	2.40E+01	1.00E+01	3.35E-01	3.43E+01	-5.00E+00	2.93E+01
Потрошња ресурса - минералних	ADPe	kg Sb eq.	2.10E-02	4.00E-03	1.20E-05	2.50E-02	-4.14E-04	2.46E-02
Потрошња ресурса - фосилних	ADPf	MJ	1.49E+05	6.60E+04	1.20E+03	2.16E+05	-2.74E+04	1.89E+05
Укупна потрошња обновљивих и.е.	PERT	MJ	3.97E+04	9.61E+03	3.57E+02	4.97E+04	-1.20E+04	3.77E+04
Укупна потрошња необновљивих и.е.	PENRT	MJ	1.50E+05	6.67E+04	1.34E+03	2.18E+05	-2.87E+04	1.89E+05
Штетни отпад	HWD	kg	7.00E+00	1.25E-04	1.10E-05	7.00E+00	-1.40E-05	7.00E+00
Неопасни отпад	NHWD	kg	3.21E+03	3.46E+03	3.48E+03	1.02E+04	-2.59E-01	1.01E+04
Радиоактивни отпад	RWD	kg	1.70E+01	1.00E+00	6.20E-02	1.81E+01	-9.82E-01	1.71E+01

Корак 3: Оптимизација димензија фасадних поља (редукција бр. компоненти) Модела В

ОВ-2.1

Опис фасадног сегмента	Бр. поља	Висина	Ширина
Транспарентна поља (ТП)	15	3m	1.50m
Поља испуне (ПИ)	15	1m	1.50m

Резултати прорачуна за 1 циклус

Компонента	Опис производа	MFA				Животни век	MCI и D	
		Количина материјала (kg)	Удео у маси (%)	Уграђени секундарни мат. (kg)	Мат. за даљу употребу (kg)		MCI укупно 0.58	MCI фаза изградње 0.58
AL-профили (ТП+ПИ)	Алуминијум Н.С.	911	19.0	719	865	50	0.988	MCI фаза
Стаклени панел (ТП)	DGU 66.2-16-8 O	3340	69.8	1670	0	25-30	0.458	употребе
AL-панел (ПИ)	Алуминијум L	168	3.5	92	167	50	0.912	1.59
Термоизолација (ПИ)	Минерална вуна RW	221	4.6	82	110	50	0.793	MCI крај
Термички прекид	РА 66	63	1.3	0	0	25-30	0.28	жив. века
Заптивка	EPDM	84	1.8	0	0	25-30	0.28	0.29
Укупно		4,787.0	100	2,563.0	1142.0		D	0.52

Прорачун за животни век од 50 година = 2 животна циклуса стакло и заптивке, 1 циклус алуминијум и изолација

Резултати прорачуна LCA	Ознака	Јединица	A1-A3	B1- B5	Ц1- Ц4	Σ А-Ц	Д	Σ А-Д
Потенцијал глобалног загревања Σ	<i>GWP tot</i>	kg CO ₂ eq.	7.83E+03	4.67E+03	6.08E+02	1.31E+04	-2.01E+03	1.11E+04
Потенцијал ацидификације	<i>AP</i>	mol H+ eq.	4.59E+01	1.60E+01	4.90E-01	6.24E+01	-9.78E+00	5.27E+01
Еутрофикација - слатка вода	<i>Epfr</i>	kg PO ₄ eq.	4.77E-01	8.90E-02	1.50E-02	5.81E-01	-2.19E-01	3.62E-01
Формирање фото- хемијског озона	<i>POCP</i>	kg NMVOC eq.	2.30E+01	1.00E+01	3.33E-01	3.33E+01	-4.00E+00	2.93E+01
Потрошња ресурса - минералних	<i>ADPe</i>	kg Sb eq.	2.00E-02	4.00E-03	1.20E-05	2.40E-02	-3.78E-04	2.36E-02
Потрошња ресурса - фосилних	<i>ADPf</i>	MJ	1.40E+05	6.44E+04	1.16E+03	2.05E+05	-2.54E+04	1.80E+05
Укупна потрошња обновљивих и.е.	<i>PERT</i>	MJ	3.70E+04	9.44E+03	3.32E+02	4.68E+04	-1.11E+04	3.56E+04
Укупна потрошња необновљивих и.е.	<i>PENRT</i>	MJ	1.41E+05	6.49E+04	1.29E+03	2.07E+05	-2.67E+04	1.81E+05
Штетни отпад	<i>HWD</i>	kg	6.00E+00	1.25E-04	1.10E-05	6.00E+00	-1.20E-05	6.00E+00
Неопасни отпад	<i>NHWD</i>	kg	2.92E+03	3.47E+03	3.48E+03	9.87E+03	-2.21E+02	9.65E+03
Радиоактивни отпад	<i>RWD</i>	kg	1.50E+01	1.00E+00	5.70E-02	1.61E+01	-8.92E-01	1.52E+01

Корак 3: Оптимизација димензија фасадних поља (редукција бр. компоненти) Модела В

OB-2.2

Опис фасадног сегмента	Бр. поља	Висина	Ширина
Транспарентна поља (ТП)	12	3m	1.875m
Поља испуне (ПИ)	12	1m	1.875m

Резултати прорачуна за 1 циклус		MFA				Животни век	MCI и D	
Компонента	Опис производа	Количина материјала (kg)	Удео у маси (%)	Уграђени секундарни мат. (kg)	Мат. за даљу употребу (kg)		MCI укупно 0.58	MCI фаза изградње
AL-профили (ТП+ПИ)	Алуминијум Н.С.	819	17.4	819	787	50	0.988	MCI фаза
Стаклени панел (ТП)	DGU 66.2-16-8 O	3360	71.5	1680	0	25-30	0.458	употребе
AL-панел (ПИ)	Алуминијум L	168	3.6	93	167	50	0.912	1.57
Термоизолација (ПИ)	Минерална вуна RW	222	4.7	82	111	50	0.793	MCI крај
Термички прекид	РА 66	56	1.2	0	0	25-30	0.28	жив. века
Заптивка	EPDM	74	1.6	0	0	25-30	0.28	0.22
Укупно		4,699.0	100	2,674.0	1065.0		D	0.52

Прорачун за животни век од 50 година = 2 животна циклуса стакло и заптивке, 1 циклус алуминијум и изолација

Резултати прорачуна LCA	Ознака	Јединица	A1-A3	B1- B5	Ц1- Ц4	Σ А-Ц	Д	Σ А-Д
Потенцијал глобалног загревања Σ	<i>GWP tot</i>	kg CO ₂ eq.	7.43E+03	4.54E+03	5.46E+02	1.25E+04	-1.85E+03	1.07E+04
Потенцијал ацидификације	<i>AP</i>	mol H+ eq.	4.31E+01	1.59E+01	4.80E-01	5.95E+01	-9.04E+00	5.04E+01
Еутрофикација - слатка вода	<i>Epfr</i>	kg PO ₄ eq.	4.58E-01	8.20E-02	1.40E-02	5.54E-01	-2.14E-01	3.40E-01
Формирање фото- хемијског озона	<i>POCP</i>	kg NMVOC eq.	2.20E+01	1.00E+01	3.31E-01	3.23E+01	-4.00E+00	2.83E+01
Потрошња ресурса - минералних	<i>ADPe</i>	kg Sb eq.	1.80E-02	4.00E-03	1.10E-05	2.20E-02	-3.41E-04	2.17E-02
Потрошња ресурса - фосилних	<i>ADPf</i>	MJ	1.31E+05	6.27E+04	1.12E+03	1.95E+05	-2.34E+04	1.72E+05
Укупна потрошња обновљивих и.е.	<i>PERT</i>	MJ	3.43E+04	9.28E+03	3.08E+02	4.39E+04	-1.03E+04	3.36E+04
Укупна потрошња необновљивих и.е.	<i>PENRT</i>	MJ	1.32E+05	6.32E+04	1.23E+03	1.97E+05	-2.46E+04	1.72E+05
Штетни отпад	<i>HWD</i>	kg	6.00E+00	1.25E-04	1.10E-05	6.00E+00	-1.10E-05	6.00E+00
Неопасни отпад	<i>NHWD</i>	kg	2.63E+03	3.48E+03	3.48E+03	9.59E+03	-1.83E+02	9.41E+03
Радиоактивни отпад	<i>RWD</i>	kg	1.40E+01	1.00E+00	5.20E-02	1.51E+01	-8.02E-01	1.43E+01

Корак 3: Оптимизација испуне фасадних поља (редукција количине стакла) Модела В

ОВ-2.3

Опис фасадног сегмента	Бр. поља	Висина	Ширина
Транспарентна поља (ТП)	9	3m	1.25m
Поља испуне (ПИ)	18	1m	1.25m
Вертик. поља испуне (ВИ)	9	3m	1.25m

Резултати прорачуна за 1 циклус

Компонента	Опис производа	MFA				Животни век	MCI и D	
		Количина материјала (kg)	Удео у маси (%)	Уграђени секундарни мат. (kg)	Мат. за даљу употребу (kg)		MCI укупно 0.69	MCI фаза изградње 0.60
AL-профили (ТП+ПИ+ВИ)	Алуминијум Н.С.	1003	26.2	1003	963	50	0.988	MCI фаза
Стаклени панел (ТП)	DGU 66.2-16-8 O	1672	43.7	833	0	25-30	0.458	употребе
AL-панел (ПИ+ВИ)	Алуминијум L	420	11.0	232	418	50	0.912	1.90
Термоизолација (ПИ+ВИ)	Минерална вуна RW	564	14.8	209	282	50	0.793	MCI крај
Термички прекид	РА 66	70	1.8	0	0	25-30	0.28	жив. века
Заптивка	EPDM	94	2.5	0	0	25-30	0.28	0.41
Укупно		3,823.0	100	2,277.0	1663.0		D	0.43

Прорачун за животни век од 50 година = 2 животна циклуса стакло и заптивке, 1 циклус алуминијум и изолација

Резултати прорачуна LCA	Ознака	Јединица	A1-A3	B1- B5	Ц1- Ц4	Σ А-Ц	Д	Σ А-Д
Потенцијал глобалног загревања Σ	<i>GWP tot</i>	kg CO ₂ eq.	7.28E+03	3.10E+03	6.57E+02	1.10E+04	-2.87E+03	8.17E+03
Потенцијал ацидификације	<i>AP</i>	mol H ⁺ eq.	4.63E+01	8.80E+00	3.60E-01	5.55E+01	-1.42E+01	4.13E+01
Еутрофикација - слатка вода	<i>Epfr</i>	kg PO ₄ eq.	8.86E-01	8.20E-02	2.30E-02	9.91E-01	-4.86E-01	5.05E-01
Формирање фото- хемијског озона	<i>POCP</i>	kg NMVOC eq.	2.20E+01	6.00E+00	2.18E-01	2.82E+01	-6.00E+00	2.22E+01
Потрошња ресурса - минералних	<i>ADPe</i>	kg Sb eq.	2.00E-02	2.00E-03	1.10E-05	2.20E-02	-4.54E-04	2.16E-02
Потрошња ресурса - фосилних	<i>ADP_f</i>	MJ	1.35E+05	4.20E+04	9.73E+02	1.78E+05	-3.64E+04	1.41E+05
Укупна потрошња обновљивих и.е.	<i>PERT</i>	MJ	3.99E+04	5.74E+03	3.24E+02	4.60E+04	-1.65E+04	2.95E+04
Укупна потрошња необновљивих и.е.	<i>PENRT</i>	MJ	1.37E+05	4.26E+04	1.12E+03	1.81E+05	-3.92E+04	1.42E+05
Штетни отпад	<i>HWD</i>	kg	7.00E+00	6.50E-05	6.00E-06	7.00E+00	-1.30E-05	7.00E+00
Неопасни отпад	<i>NHWD</i>	kg	3.19E+03	1.75E+03	1.79E+03	6.73E+03	-2.90E+01	6.70E+03
Радиоактивни отпад	<i>RWD</i>	kg	1.60E+01	5.88E-01	5.90E-02	1.66E+01	-9.81E-01	1.57E+01

Корак 3: Оптимизација испуне фасадних поља (редукција количине стакла) Модела В

ОВ-2.4

Опис фасадног сегмента	Бр. поља	Висина	Ширина
Транспарентна поља (ТП)	12	3m	1.25m
Поља испуне (ПИ)	12	1m	1.875m
Вертик. поља испуне (ВИ)	12	3m	0.625m

Резултати прорачуна за 1 циклус

Компонента	Опис производа	MFA				Животни век	MCI и D	
		Количина материјала (kg)	Удео у маси (%)	Уграђени секундарни мат. (kg)	Мат. за даљу употребу (kg)		MCI укупно 0.65	MCI фаза изградње
AL-профили (ТП+ПИ)	Алуминијум Н.С.	968	23.4	968	929	50	0.988	MCI фаза
Стаклени панел (ТП)	DGU 66.2-16-8 O	2221	53.8	1110	0	25-30	0.458	употребе
AL-панел (ПИ)	Алуминијум L	337	8.2	93	333	50	0.912	1.78
Термоизолација (ПИ)	Минерална вуна RW	447	10.8	165	223	50	0.793	MCI крај
Термички прекид	РА 66	66	1.6	0	0	25-30	0.28	жив. века
Заптивка	EPDM	89	2.2	0	0	25-30	0.28	0.34
Укупно		4,128.0	100	2,336.0	1485.0		D	0.46

Прорачун за животни век од 50 година = 2 животна циклуса стакло и заптивке, 1 циклус алуминијум и изолација

Резултати прорачуна LCA	Ознака	Јединица	A1-A3	B1- B5	Ц1- Ц4	Σ А-Ц	Д	Σ А-Д
Потенцијал глобалног загревања Σ	<i>GWP tot</i>	kg CO ₂ eq.	7.43E+03	3.60E+03	6.32E+02	1.17E+04	-2.57E+03	9.09E+03
Потенцијал ацидификације	<i>AP</i>	mol H+ eq.	4.60E+01	1.12E+01	4.00E-01	5.75E+01	-1.27E+01	4.49E+01
Еутрофикација - слатка вода	<i>Epfr</i>	kg PO ₄ eq.	7.46E-01	8.30E-02	2.00E-02	8.49E-01	-3.95E-01	4.54E-01
Формирање фото- хемијског озона	<i>POCP</i>	kg NMVOC eq.	2.20E+01	7.00E+00	2.56E-01	2.93E+01	-6.00E+00	2.33E+01
Потрошња ресурса - минералних	<i>ADPe</i>	kg Sb eq.	2.00E-02	3.00E-03	1.10E-05	2.30E-02	-4.26E-04	2.26E-02
Потрошња ресурса - фосилних	<i>ADPf</i>	MJ	1.36E+05	4.91E+04	1.03E+03	1.86E+05	-3.25E+04	1.53E+05
Укупна потрошња обновљивих и.е.	<i>PERT</i>	MJ	3.88E+04	6.94E+03	3.24E+02	4.60E+04	-1.46E+04	3.14E+04
Укупна потрошња необновљивих и.е..	<i>PENRT</i>	MJ	1.38E+05	4.97E+04	1.17E+03	1.89E+05	-3.48E+04	1.54E+05
Штетни отпад	<i>HWD</i>	kg	7.00E+00	8.50E-05	8.00E-06	7.00E+00	-1.30E-05	7.00E+00
Неопасни отпад	<i>NHWD</i>	kg	3.09E+03	2.32E+03	2.35E+03	7.76E+03	-9.30E+01	7.67E+03
Радиоактивни отпад	<i>RWD</i>	kg	1.60E+01	7.84E-01	5.80E-02	1.68E+01	-9.47E-01	1.59E+01

ПРИЛОГ 6. Упоредни приказ резултата прорачуна утицаја на животну средину током животног циклуса фасадног сегмента оптимизованих модела

Приказане табеле су основ за анализу резултата прорачуна утицаја на животну средину за фасадне сегменте оптимизованих модела, објашњених у Поглављу 5 докторске дисертације.

Табела 9.6.1. Резултати прорачуна потенцијала глобалног загревања оптимизованих модела ОВ у односу на фазе животног циклуса фасадног сегмента

GWP tot kg CO ₂ eq.	A1-A3	B1- B5	Ц1- Ц4	Σ А-Ц	Д	Σ А-Д
Модел В	17,500	18,200	672	36,400	-8,020	28,400
Компонента са највећим уделом	AL-профили	AL-профили	EPDM		AL-профили	
Модел ОВа	8,230	8,940	683	17,853	-2,170	15,683
% у односу на основни модел	-53.0	-50.9	1.6	-51.0		
Компонента са највећим уделом	AL-профили и Стаклени панели (ТИ)	AL-профили и Стаклени панели (ТИ)	EPDM		AL-профили	
Модел ОВ-1	8,230	4,800	670	13,700	-2,170	11,530
% у односу на основни модел	-53.0	-73.6	-0.3	-62.4		
Компонента са највећим уделом	AL-профили и Стаклени панели (ТИ)	Стаклени панели (ТИ)	EPDM		AL-профили	
Модел ОВ-2.1	7,830	4,670	608	13,108	-2,010	11,098
% у односу на основни модел	-55.3	-74.3	-9.5	-64.0		
Компонента са највећим уделом	Стаклени панели (ТИ) и AL-профили	Стаклени панели (ТИ)	EPDM		AL-профили	
Модел ОВ-2.2	7,430	4,540	546	12,516	-1,850	10,666
% у односу на основни модел	-57.5	-75.1	-18.8	-65.6		
Компонента са највећим уделом	Стаклени панели (ТИ)	Стаклени панели (ТИ)	Стаклени панели (ТИ)		AL-профили	
Модел ОВ-2.3	7,280	3,100	657	11,037	-2,870	8,167
% у односу на основни модел	-58.4	-83.0	-2.2	-69.7		
Компонента са највећим уделом	AL-профили	Стаклени панели (ТИ)	EPDM		AL-профили	
Модел ОВ-2.4	7,430	3,600	632	11,662	-2,570	9,092
% у односу на основни модел	-57.5	-80.2	-6.0	-68.0		
Компонента са највећим уделом	AL-профили	Стаклени панели (ТИ)	EPDM		AL-профили	

Табела 9.6.2. Резултати прорачуна потенцијала ацидификације оптимизованих модела ОА у односу на фазе животног циклуса фасадног сегмента

AP mol H ⁺ eq.	A1-A3	B1- B5	Ц1- Ц4	Σ А-Ц	Д	Σ А-Д
Модел А	57.28	57.90	0.53	115.71	-18.14	97.57
Компонента са највећим уделом	AL-профили и Стаклени панели (ТИ)	AL-профили и Стаклени панели (ТИ)	Стаклени панели (ТИ)		AL- профили	
Модел ОАаг	39.03	38.84	0.61	78.48	-30.84	47.64
% у односу на основни модел	-31.9	-32.9	15.1	-32.2		
Компонента са највећим уделом	AL-профили	Стаклени панели (ТИ)	Стаклени панели (ТИ)		AL- профили	
Модел ОАас	43.86	19.00	0.57	63.43	-6.65	56.78
% у односу на основни модел	-23.4	-67.2	7.5	-45.2		
Модел ОА-1	43.08	15.89	0.48	59.45	-9.04	50.41
% у односу на основни модел	-24.8	-72.6	-9.4	-48.6		
Компонента са највећим уделом	AL-профили	Стаклени панели (ТИ)	Стаклени панели (ТИ)		AL- профили	
Модел ОА-2.1	43.08	15.89	0.48	59.45	-9.04	50.41
% у односу на основни модел	-24.8	-72.6	-9.4	-48.6		
Модел ОА-2.2	38.48	18.96	0.55	57.99	-5.20	52.79
% у односу на основни модел	-32.8	-67.3	3.8	-49.9		
Модел ОА-2.3	41.18	18.98	0.56	60.72	-5.93	54.79
% у односу на основни модел	-28.1	-67.2	5.7	-47.5		

Табела 9.6.3. Резултати прорачуна потенцијала еутрофикације оптимизованих модела ОВ у односу на фазе животног циклуса фасадног сегмента

Epfr kg PO ₄ eq.	A1-A3	B1- B5	Ц1- Ц4	Σ А-Ц	Д	Σ А-Д
Модел В	0.25	0.27	0.01	0.53	-0.06	0.47
Компонента са највећим уделом	AL-профили	AL-профили	EPDM		AL-профили	
Модел ОВа	0.50	0.52	0.02	1.03	-0.22	0.81
% у односу на основни модел	100.8	95.1	23.1	96.0		
Компонента са највећим уделом	AL-профили и AL- панели	AL-панели и AL-профили	EPDM		AL-панели (ПИ)	
Модел ОВ-1	0.50	0.10	0.02	0.61	-0.22	0.38
% у односу на основни модел	100.8	-63.8	23.1	15.8		
Компонента са највећим уделом	AL-профили и AL- панели	EPDM	EPDM		AL-панели (ПИ)	
Модел ОВ-2.1	0.48	0.09	0.02	0.58	-0.22	0.36
% у односу на основни модел	93.1	-66.4	15.4	10.7		
Модел ОВ-2.2	0.46	0.08	0.01	0.55	-0.21	0.34
% у односу на основни модел	85.4	-69.1	7.7	5.5		
Модел ОВ-2.3	0.89	0.08	0.02	0.99	-0.49	0.51
% у односу на основни модел	258.7	-69.1	76.9	88.8		
Модел ОВ-2.4	0.75	0.08	0.02	0.85	-0.40	0.45
% у односу на основни модел	202.0	-68.7	53.8	61.7		

Табела 9.6.4. Резултати прорачуна потенцијала формирања фото-хемијског озона оптимизованих модела ОА у односу на фазе животног циклуса фасадног сегмента

POCP kg NMVOC eq.	A1-A3	B1- B5	Ц1- Ц4	Σ А- Ц	Д	Σ А- Д
Модел А	33.00	33.00	0.36	66.36	-9.00	57.36
Компонента са највећим уделом	Стаклени панели (ТИ) и AL-профили	Стаклени панели (ТИ) и AL-профили	Стаклени панели (ТИ)		AL-профили	
Модел ОАаг	21.00	22.00	0.43	43.43	-13.00	30.43
% у односу на основни модел	-36.4	-33.3	20.8	-34.6		
Модел ОАас	21.00	21.00	0.43	42.43	-2.00	40.43
% у односу на основни модел	-36.4	-36.4	20.8	-36.1		
Компонента са највећим уделом	AL-профили и Стаклени панели (ТИ)	AL-профили и Стаклени панели (ТИ)	Стаклени панели (ТИ)		AL-профили	
Модел ОА-1	22.00	12.00	0.38	34.38	-3.00	31.38
% у односу на основни модел	-33.3	-63.6	7.6	-48.2		
Модел ОА-2.1	22.00	10.00	0.33	32.33	-4.00	28.33
% у односу на основни модел	-33.3	-69.7	-7.0	-51.3		
Компонента са највећим уделом	AL-профили и Стаклени панели (ТИ)	Стаклени панели (ТИ)	Стаклени панели (ТИ)		AL-профили	
Модел ОА-2.2	20.00	12.00	0.38	32.38	-2.00	30.38
% у односу на основни модел	-39.4	-63.6	6.2	-51.2		
Модел ОА-2.3	21.00	12.00	0.38	33.38	-2.00	31.38
% у односу на основни модел	-36.4	-63.6	7.0	-49.7		

Табела 9.6.5. Потрошња минералних ресурса оптимизованих модела ОА у односу на фазе животног циклуса фасадног сегмента

ADPe kg Sb eq.	A1-A3	B1- B5	Ц1- Ц4	Σ А-Ц	Д	Σ А-Д
Модел А	0.0050	0.0060	0.00001	0.0110	-0.0003	0.0107
Компонента са највећим уделом	AL-профили	AL-профили	EPDM		AL-профили	
Модел ОАаг	0.0090	0.0100	0.00000	0.0190	-0.0010	0.0180
% у односу на основни модел	80.0	66.7	-99.9	72.6	273.1	67.6
Компонента са највећим уделом	AL-профили	AL-профили и Стаклени панели (ТИ)	Стаклени панели (ТИ)		AL-профили	
Модел ОАас	0.0170	0.0180	0.00001	0.0350	-0.0003	0.0347
% у односу на основни модел	240.0	200.0	44.4	218.0	12.3	223.2
Модел ОА-1	0.0210	0.0220	0.00001	0.0430	-0.0004	0.0426
% у односу на основни модел	320.0	266.7	44.4	290.7	54.5	296.6
Компонента са највећим уделом	AL-профили	Стаклени панели (ТИ)	Стаклени панели (ТИ)		AL-профили	
Модел ОА-2.1	0.0190	0.0050	0.00001	0.0240	-0.0003	0.0237
% у односу на основни модел	280.0	-16.7	44.4	118.1	24.6	120.5
Модел ОА-2.2	0.0180	0.0040	0.00001	0.0220	-0.0003	0.0217
% у односу на основни модел	260.0	-33.3	22.2	99.9	27.2	101.8
Модел ОА-2.3	0.0160	0.0050	0.00001	0.0210	-0.0003	0.0207
% у односу на основни модел	220.0	-16.7	22.2	90.9	-2.2	93.2

Табела 9.6.6. Потрошња фосилних ресурса оптимизованих модела ОВ у односу на фазе животног циклуса фасадног сегмента

ADP _f MJ	A1-A3	B1- B5	Ц1- Ц4	Σ А-Ц	Д	Σ А-Д
Модел В	247,870	249,440	1,390	498,700	-107,440	391,260
Компонента са највећим уделом	AL-профили	AL-профили	AL-панели (ПИ)		AL-профили	
Модел ОВа	148,680	150,440	1,380	300,500	-27,370	273,130
% у односу на основни модел	-40.0	-39.7	-0.7	-39.7		
Компонента са највећим уделом	AL-профили	AL-профили	Стаклени панели (ТИ)		AL-профили	
Модел ОВ-1	148,680	66,030	1,200	215,910	-27,370	188,540
% у односу на основни модел	-40.0	-73.5	-13.7	-56.7		
Модел ОВ-2.1	139,950	64,350	1,160	205,460	-25,370	180,090
% у односу на основни модел	-43.5	-74.2	-16.5	-58.8		
Модел ОВ-2.2	131,220	62,670	1,120	195,010	-23,360	171,650
% у односу на основни модел	-47.1	-74.9	-19.4	-60.9		
Компонента са највећим уделом	AL-профили	Стаклени панели (ТИ)	Стаклени панели (ТИ)		AL-профили	
Модел ОВ-2.3	134,810	41,990	973	177,773	-36,360	141,413
% у односу на основни модел	-45.6	-83.2	-30.0	-64.4		
Компонента са највећим уделом	AL-профили	Стаклени панели (ТИ)	AL-профили и Стаклени панели (ТИ)		AL-профили и AL-панели	
Модел ОВ-2.4	135,780	49,100	1,030	185,910	-32,510	153,400
% у односу на основни модел	-45.2	-80.3	-25.9	-62.7		
Компонента са највећим уделом	AL-профили	Стаклени панели (ТИ)	Стаклени панели (ТИ) и AL-профили и		AL-профили и AL-панели	

Табела 9.6.7. Укупна потрошња обновљивих извора енергије оптимизованих модела ОВ у односу на фазе животног циклуса фасадног сегмента

PERT MJ	A1-A3	B1- B5	Ц1- Ц4	Σ А-Ц	Д	Σ А-Д
Модел В	62,170	62,690	419	125,279	-35,930	89,349
Компонента са највећим уделом	AL-профили	AL-профили	EPDM		AL-профили	
Модел ОВа	39,670	40,140	367	80,177	-11,980	68,197
% у односу на основни модел	-36.2	-36.0	-12.4	-36.0		
Компонента са највећим уделом	AL-профили	AL-профили	AL-профили		AL-профили	
Модел ОВ-1	39,690	9,610	357	49,657	-11,980	37,677
% у односу на основни модел	-36.2	-84.7	-14.8	-60.4		
Компонента са највећим уделом	AL-профили	Стаклени панели (ТИ)	AL-профили		AL-профили	
Модел ОВ-2.1	36,980	9,440	332	46,752	-11,140	35,612
% у односу на основни модел	-40.5	-84.9	-20.6	-62.7		
Компонента са највећим уделом	AL-профили	Стаклени панели (ТИ)	AL-профили		AL-профили	
Модел ОВ-2.2	34,290	9,280	308	43,878	-10,310	33,568
% у односу на основни модел	-44.8	-85.2	-26.5	-65.0		
Модел ОВ-2.3	39,910	5,740	324	45,974	-16,480	29,494
% у односу на основни модел	-35.8	-90.8	-22.7	-63.3		
Компонента са највећим уделом	AL-профили	Стаклени панели (ТИ)	AL-профили		AL-профили и AL-панели	
Модел ОВ-2.4	38,750	6,940	324	46,014	-14,630	31,384
% у односу на основни модел	-37.7	-88.9	-22.5	-63.3		
Компонента са највећим уделом	AL-профили	Стаклени панели (ТИ)	AL-профили		AL-профили	

Табела 9.6.8. Укупна потрошња необновљивих извора енергије оптимизованих модела ОА у односу на фазе животног циклуса фасадног сегмента

PENRT MJ	A1-A3	B1- B5	Ц1- Ц4	Σ А-Ц	Д	Σ А-Д
Модел А	203,940	205,210	1,003	409,151	-74,030	335,121
Компонента са највећим уделом	AL-профили	AL-профили	Стаклени панели (ТИ)		AL-профили	
Модел ОАaг	130,520	133,290	1,370	265,180	-69,850	195,330
% у односу на основни модел	-36.0	-35.0	36.6	-35.2		
Компонента са највећим уделом	AL-профили	AL-профили	Стаклени панели (ТИ)		AL-профили	
Модел ОАaс	126,260	128,030	1,370	255,660	-17,020	238,640
% у односу на основни модел	-38.1	-37.6	36.6	-37.5		
Компонента са највећим уделом	AL-профили	AL-профили	Стаклени панели (ТИ)		AL-профили	
Модел ОА-1	134,510	71,600	1,200	207,310	-18,780	188,530
% у односу на основни модел	-34.0	-65.1	19.6	-49.3		
Компонента са највећим уделом	AL-профили	Стаклени панели (ТИ)	Стаклени панели (ТИ)		AL-профили	
Модел ОА-2.1	132,410	63,200	1,230	196,840	-24,640	172,200
% у односу на основни модел	-35.1	-69.2	22.6	-51.9		
Компонента са највећим уделом	AL-профили	Стаклени панели (ТИ)	Стаклени панели (ТИ)		AL-профили	
Модел ОА-2.2	118,940	69,730	1,200	189,870	-14,800	175,070
% у односу на основни модел	-41.7	-66.0	19.6	-53.6		
Компонента са највећим уделом	AL-профили	Стаклени панели (ТИ)	Стаклени панели (ТИ)		AL-профили	
Модел ОА-2.3	126,770	70,700	1,240	198,710	-16,800	181,910
% у односу на основни модел	-37.8	-65.5	23.6	-51.4		
Компонента са највећим уделом	AL-профили	Стаклени панели (ТИ)	Стаклени панели (ТИ)		AL-профили	

Табела 9.6.9. Резултати прорачуна количине одложеног штетног отпада оптимизованих модела ОА у односу на фазе животног циклуса фасадног сегмента

HWD kg	A1-A3	B1- B5	Ц1- Ц4	Σ А-Ц	Д	Σ А-Д
Модел А	19	19	0.00001	38	-0.000029	38
Компонента са највећим уделом	AL-профили	AL-профили	EPDM		AL-профили	
Модел ОАaг	21	21	0.00001	42	-0.00005	42
% у односу на основни модел	10.5	10.5	-7.1	10.5		
Компонента са највећим уделом	AL-профили	AL-профили	Стаклени панели (ТИ)		AL-профили	
Модел ОАaс	5	5	0.00001	10	-0.00001	10
% у односу на основни модел	-73.7	-73.7	-7.1	-73.7		
Компонента са највећим уделом	AL-профили	AL-профили	Стаклени панели (ТИ)		AL-профили	
Модел ОА-1	6	0.00016	0.00001	6	-0.00001	6
% у односу на основни модел	-68.4	-100.0	-7.1	-84.2		
Компонента са највећим уделом	AL-профили	Стаклени панели (ТИ)	Стаклени панели (ТИ)		AL-профили	
Модел ОА-2.1	6	0.00013	0.00001	6	-0.00001	6
% у односу на основни модел	-68.4	-100.0	-21.4	-84.2		
Компонента са највећим уделом	AL-профили	Стаклени панели (ТИ)	Стаклени панели (ТИ)		AL-профили	
Модел ОА-2.2	4	0.00001	0.00001	4	-0.00001	4
% у односу на основни модел	-78.9	-100.0	-7.1	-89.5		
Модел ОА-2.3	5	0.00016	0.00001	5	-0.00001	5
% у односу на основни модел	-73.7	-100.0	-7.1	-86.8		

Табела 9.6.10. Резултати прорачуна количине одложеног неопасног отпада оптимизованих модела ОВ у односу на фазе животног циклуса фасадног сегмента

NHWD kg	A1-A3	B1- B5	Ц1- Ц4	Σ А-Ц	Д	Σ А-Д
Модел В	2,860	6,580	3,720	13,160	-1,780	11,380
Компонента са највећим уделом	AL-профили	Стаклени панели (ТИ)	Стаклени панели (ТИ)		AL-профили	
Модел ОВа	3,210	6,680	3,480	13,370	-259	13,111
% у односу на основни модел	12.2	1.5	-6.5	1.6		
Компонента са највећим уделом	AL-профили	AL-профили и Стаклени панели (ТИ)	Стаклени панели (ТИ)		AL-профили	
Модел ОВ-1	3,210	3,460	3,480	10,150	0	10,150
% у односу на основни модел	12.2	-47.4	-6.5	-22.9		
Компонента са највећим уделом	AL-профили	Стаклени панели (ТИ)	Стаклени панели (ТИ)		AL-профили	
Модел ОВ-2.1	2,920	3,470	3,480	9,870	-221	9,649
% у односу на основни модел	2.1	-47.3	-6.5	-25.0		
Компонента са највећим уделом	AL-профили	Стаклени панели (ТИ)	Стаклени панели (ТИ)		AL-профили	
Модел ОВ-2.2	2,630	3,480	3,480	9,590	-183	9,407
% у односу на основни модел	-8.0	-47.1	-6.5	-27.1		
Компонента са највећим уделом	AL-профили	Стаклени панели (ТИ)	Стаклени панели (ТИ)		AL-профили	
Модел ОВ-2.3	3,190	1,750	1,790	6,730	-29	6,701
% у односу на основни модел	11.5	-73.4	-51.9	-48.9		
Компонента са највећим уделом	AL-профили	Стаклени панели (ТИ)	Стаклени панели (ТИ)		AL-профили	
Модел ОВ-2.4	3,090	2,320	2,350	7,760	-93	7,667
% у односу на основни модел	8.0	-64.7	-36.8	-41.0		
Компонента са највећим уделом	AL-профили	Стаклени панели (ТИ)	Стаклени панели (ТИ)		AL-профили	

Табела 9.6.11. Резултати прорачуна количине одложеног радиоактивног отпада оптимизованих модела ОВ у односу на фазе животног циклуса фасадног сегмента

RWD kg	A1-A3	B1- B5	Ц1- Ц4	Σ А-Ц	Д	Σ А-Д
Модел В	10.00	10.00	0.09	20.09	-4.00	16.09
Компонента са највећим уделом	AL-профили	AL-профили	AL-панели (ПИ)		AL-профили	
Модел ОВа	17.00	17.00	0.06	34.06	-0.98	33.08
% у односу на основни модел	70.0	70.0	-25.88	69.6		
Компонента са највећим уделом	AL-профили	AL-профили	AL-профили		AL-профили	
Модел ОВ-1	17.00	1.00	0.06	18.06	-0.98	17.08
% у односу на основни модел	70.0	-90.0	-27.06	-10.1		
Компонента са највећим уделом	AL-профили	Стаклени панели (ТИ)	AL-профили		AL-профили	
Модел ОВ-2.1	15.00	1.00	0.06	16.06	-0.89	15.17
% у односу на основни модел	50.0	-90.0	-32.94	-20.1		
Компонента са највећим уделом	AL-профили	Стаклени панели (ТИ)	AL-профили		AL-профили	
Модел ОВ-2.2	14.00	1.00	0.05	15.05	-0.80	14.25
% у односу на основни модел	40.0	-90.0	-38.82	-25.1		
Модел ОВ-2.3	16.00	0.59	0.06	16.65	-0.98	15.67
% у односу на основни модел	60.0	-94.1	-30.59	-17.1		
Модел ОВ-2.4	16.00	0.78	0.06	16.84	-0.95	15.90
% у односу на основни модел	60.0	-92.2	-31.8	-16.1		

СКРАЋЕНИЦЕ И СИМБОЛИ

ЦЕ	циркуларна економија
ADPe	потрошња минералних ресурса (енг. <i>Abiotic depletion potential</i>)
ADPf	потрошња фосилних (енг. <i>Fossil fuel depletion potential</i>)
AP	Потенцијал ацидификације (енг. <i>Acidification potential</i>)
EP	потенцијал еутрофикације (енг. <i>Eutrophication potential</i>)
GWP	потенцијал глобалног загревања (енг. <i>Global warming potential</i>)
HWD	одлагање неопасног отада (енг. <i>Hazardous waste disposed</i>)
LCA	оцена животног циклуса (енг. <i>Life Cycle Assessment</i>)
MCI	индикатор циркуларног потенцијала материјала (енг. <i>Material Circularity Indicator</i>)
PERT	укупна потрошња обновљивих извора енергије (енг. <i>Total use of renewable primary energy resources</i>)
PENRT	укупна потрошња необновљивих извора енергије (енг. <i>Total use of non-renewable primary energy resources</i>)
POCP	потенцијал формирања фото-хемијског озона - POCP (енг. <i>Photochemical ozone formation potential</i>)
NHWD	одлагање неопасног отпада (енг. <i>Non-hazardous waste disposed</i>)
RWD	одлагање радиоактивног отпада (енг. <i>Radioactive waste disposed</i>)
CO ₂	угљен-диоксид
CO _{2e}	угљен-диоксид еквивалент
U	кофицијент пролаза топлоте (W/m ² K)
CI	индикатор тока циркуларне економије
LFI	ток линеарне економије
F(X)	временски период функционалне употребе производа (n _{година})
FR	удео масе производа направљен употребом рециклираних сировина (%)
FU	удео масе производа направљен од поновно употребљених сировина (%)
FS	удео масе производа направљен од сировина органског порекла (%)
V	количина употребљених примарних сировина (kg)
W	количина отпада (kg)
W _C	количина отпада насталог током процеса рециклаже производа (kg)
W ₀	количина неповратног отпада (kg)
W _F	количина отпада насталог приликом враћања у фазу производње односно претварања у секундарну сировину (kg)
C _R	удео материјала који се сакупља и кроз рециклажу враћа у производни процес (%)
C _U	удео материјала који се сакупља и директно поново употребљава (%)
E _F	ефикасност процеса рециклаже
Lu	просечни животног века производа у односу на специфичности конкретног пројекта (n _{година})
L _{av}	животни век сличних производа базираној на просеку на нивоу целе индустрије (n _{година})

ПОПИС ИЛУСТРАЦИЈА

Слика 1. Доживљај објекта исте висине у зависности од контекста (а и б), као и пропорција објекта (в). (Ауторска илустрација, по узору на <i>CTBUH</i> : https://www.ctbuh.org/resource/height)	13
Слика 2. Број високих објеката у Европи према периоду изградње и оствареној максималној висини (Аутор)	26
Слика 3. Број високих објеката у односу на период изградње и намену (Аутор)	27
Слика 4. Разлика између тока линеарне и циркуларне економије (Аутор)	47
Слика 5. Животни век делова објекта (Аутор према Brand, 1994)	61
Слика 6. Стратегије оквира 9R	64
Слика 7. Приказ процеса прикупљања података релевантних за утврђивање могућности оптимизације фасада са становишта циркуларне економије (Аутор)	77
Слика 8. Разлагање структуре фасадних омотача у циљу утврђивања нивоа примене принципа и стратегија циркуларне економије (Аутор)	86
Слика 9. Приказ разложене структуре Модела А у односу на претходно дефинисане нивое примене принципа и стратегија циркуларне економије (Аутор)	87
Слика 10. Приказ разложене структуре Модела В у односу на претходно дефинисане нивое примене принципа и стратегија циркуларне економије (Аутор)	88
Слика 11. Усклађивање животног века компоненти фасадних сегмената основних модела у циљу оптимизације циркуларног потенцијала (Аутор)	94
Слика 12. Оптимизација одвајања алуминијумских профила оквира од двоструко изолованих стаклених панела додавањем елемента који омогућава избегавање штете приликом демонтаже и поновну употребу главне конструкције (Аутор)	95
Слика 13. утицај промене димензије фасадних поља на редукцију вертикалних профила оквира и естетске карактеристике фасадног омотача (Аутор)	98
Слика 14. Преглед индикатора који се користе за нумеричку процену утицаја стратегија циркуларне економије у поступку оптимизације фасадног омотача у зависности од нивоа примене (Аутор)	101
Слика 15. Графички приказ нумеричке процене основног индикатора циркуларног потенцијала (Аутор)	105
Слика 16. Графички приказ процене индекса демонтаже фасадног система (Аутор према Dutch Green Building Council, 2021)	109
Слика 17. Фазе животног циклуса зграде и њима припадајућих модула (Аутор)	112
Слика 18. Графички приказ прилагођене методологије оцене животног циклуса за одређивање утицаја фасадног сегмента на животну средину током животног века од 50 година (Аутор)	113
Слика 19. Резултати прорачуна индикатора циркуларног потенцијала фасадних сегмената основних модела МА и МВ у односу на фазе животног циклуса (Аутор)	123
Слика 20. Дефинисање корака у поступку оптимизације основних модела и утицаја примењених стратегија на промену изгледа фасадних сегмената (Аутор)	131
Слика 21. Резултати прорачуна укупне вредности индикатора циркуларног потенцијала за фасадне сегменте оптимизованих модела	140

Слика 22. Шематски приказ простора хипотетичког високог објекта који су предмет прорачуна и њима припадајућих делова фасадног омотача (Аутор)	158
Слика 23. Потрошња оперативне енергије изражена кроз годишњу емисију угљен-диоксида за фасадне омотаче основних и оптимизованих модела (Аутор)	162
Слика 24. Резултати прорачуна разлика у емисији CO ₂ у употребној фази хипотетичког објекта током 25 година, у зависности од оптимизације фасадног омотача код модела ОА и ОВ у односу на основне моделе (Аутор)	163
Слика 25. Резултати прорачуна индикатора циркуларног потенцијала фасадног сегмента оптимизованих модела А у односу на фазе животног циклуса	165
Слика 26. Резултати прорачуна индикатора циркуларног потенцијала фасадног сегмента оптимизованих модела В у односу на фазе животног циклуса	166
Слика 27. Компаративни приказ потенцијала глобалног загревања основног модела А и његових оптимизованих варијанти – сагледавање односа укупне суме за фазе животног циклуса А, Б и Ц и редукцију у случају узимања у обзир и фазу Д (Аутор)	168
Слика 28. Компаративни приказ потенцијала глобалног загревања основног модела В и његових оптимизованих варијанти – сагледавање односа укупне суме за фазе животног циклуса А, Б и Ц и редукцију у случају узимања у обзир и фазу Д (Аутор)	169
Слика 29. Компаративни приказ потенцијала ацидификације основног модела В и његових оптимизованих варијанти - укупна сума током А, Б и Ц фазе животног циклуса (Аутор)	170
Слика 30. Компаративни приказ потенцијала ацидификације основног модела В и његових оптимизованих варијанти - укупна сума током А, Б и Ц фазе животног циклуса (Аутор)	170
Слика 31. Компаративни приказ потенцијала еутрофикације слатке воде основног модела А и његових оптимизованих варијанти - укупна сума током А, Б и Ц фазе животног циклуса (Аутор)	171
Слика 32. Компаративни приказ потенцијала еутрофикације слатке воде основног модела В и његових оптимизованих варијанти - сума током А, Б и Ц фазе животног циклуса (Аутор)	172
Слика 33. Компаративни приказ потенцијала формирања фото-хемијског озона основног модела А и његових оптимизованих варијанти - фазе животног циклуса А, Б и Ц (Аутор)	173
Слика 34. Компаративни приказ потенцијала формирања фото-хемијског озона основног модела В и његових оптимизованих варијанти - укупна сума током А, Б и Ц фазе животног циклуса (Аутор)	173
Слика 35. Компаративни приказ потрошње минералних ресурса основног модела А и његових оптимизованих варијанти - укупна сума током А, Б и Ц фазе животног циклуса (Аутор)	174
Слика 36. Компаративни приказ потрошње минералних ресурса основног модела В и његових оптимизованих варијанти - сума А, Б и Ц фазе животног циклуса (Аутор)	175
Слика 37. Компаративни приказ потрошње фосилних ресурса основног модела А и његових оптимизованих варијанти - укупна сума током А, Б и Ц фазе животног циклуса (Аутор)	175
Слика 38. Компаративни приказ потрошње фосилних ресурса основног модела В и његових оптимизованих варијанти (Аутор)	176
Слика 39. Компаративни приказ потрошње обновљивих и необновљивих извора енергије основног модела А и његових оптимизованих варијанти - укупна сума током А, Б и Ц фазе животног циклуса (Аутор)	177

Слика 40. Компаративни приказ потрошње обновљивих и необновљивих извора енергије основног модела В и његових оптимизованих варијанти за А, Б и Ц фазе животног циклуса (Аутор)	177
Слика 41. Компаративни приказ количине произведеног неопасног отпада основног модела А и његових оптимизованих варијанти током А, Б и Ц фазе животног циклуса (Аутор)	178
Слика 42. Компаративни приказ количине произведеног неопасног отпада основног модела В и његових оптимизованих варијанти - укупна сума током А, Б и Ц фазе животног циклуса (Аутор)	178
Слика 43. Компаративни приказ количине произведеног штетног и радиоактивног отпада основног модела А и његових оптимизованих варијанти - укупна сума током А, Б и Ц фазе животног циклуса (Аутор)	179
Слика 44. Компаративни приказ количине произведеног штетног и радиоактивног отпада основног модела В и његових оптимизованих варијанти за А, Б и Ц фазе животног циклуса (Аутор)	179
Слика 45. Емисија угљен-диоксида (изражена у tCO ₂) оптимизованих модела ОА у односу на основни модел МА, током појединачних фаза животног циклуса хипотетичког високог објекта (Аутор)	181
Слика 46. Емисија угљен-диоксида оптимизованих модела ОВ у односу на основни модел МВ, изражена у tCO ₂ кроз фазе животног циклуса хипотетичког високог објекта (Аутор)	182
Слика 47. Упоредни приказ укупног повећања или редукције емисије CO ₂ оптимизованих модела у односу на основне, у зависности од прорачуна потрошње енергије током фаза А, Б и Ц и модула Бб (Аутор)	183
Слика 48. Преглед утицаја стратегија циркуларне економије оптимизацију циркуларног потенцијала фасадних сегмената у односу на ниво примене (Аутор)	185
Слика 49. Преглед утицаја стратегија циркуларне економије оптимизацију утицаја фасадних сегмената на животну средину у односу на ниво примене (Аутор)	186

ПОПИС ТАБЕЛА

Табела 1. Преглед националних стратегија земаља Европе за развој циркуларне економије.	53
Табела 2: Анализа стратегија ЦЕ предложених од стране фирме АРУП и фондације Елен Мек Артур у оквиру интернет платформе <i>Circular Buildings Toolkit</i> (приступи 1 и 2, стратегије 1, 2 и 3).	66
Табела 3: Анализа и интерпретација стратегија ЦЕ предложених од стране фирме АРУП и фондације Елен Мек Артур (приступ 2, стратегије 4 и 5)	67
Табела 4: Анализа стратегија ЦЕ предложених од стране фирме АРУП и фондације Елен Мек Артур (приступ 3, стратегије 6 и 7)	67
Табела 5: Анализа стратегија ЦЕ предложених од стране фирме АРУП и фондације Елен Мек Артур (приступ 4, стратегије 8, 9 и 10).	68
Табела 6. Упоредни приказ дефинисаних фасадних сегмената основних модела МА и МВ (Аутор).....	72
Табела 7. Преглед индикатора утицаја на животну средину у оквиру <i>EPD</i> декларација према стандарду EN15804:2012+A2:2019	83
Табела 8. Преглед одабраних стратегија циркуларне економије за поступак оптимизације фасадног омотача основних модела	99

Табела 9. Подаци за одређивање индикатора циркуларног потенцијала током сваке од фаза животног циклуса зграде (Аутор према Madaster, 2021)	102
Табела 10. Потенцијал глобалног загревања основних модела МА и МВ у зависности од фаза животног циклуса.....	124
Табела 11. Потенцијал ацидификације, еутрофикације и формирања фото-хемијског озона основних модела МА и МВ у зависности од фаза животног циклуса.	125
Табела 12. Укупна потрошња обновљивих и необновљивих извора енергије основних модела МА и МВ у зависности од фаза животног циклуса.....	126
Табела 13. Потрошња минералних и фосилних ресурса за фасадни сегмент основних модела МА и МВ.....	127
Табела 14. Производња штетног, неопасног и радиоактивног отпада у зависности од фазе животног циклуса за фасадни сегмент модела МА и МВ.	129
Табела 15. Резултати прорачуна индикатора циркуларног потенцијала за 1 животно циклус појединачних компоненти фасадних сегмената оптимизованих модела у односу на корак поступка оптимизације	139
Табела 16. Резултати прорачуна потенцијала глобалног загревања за фасадни сегмент оптимизованих модела ОА у односу на фазе животног циклуса.....	142
Табела 17. Резултати прорачуна потенцијала ацидификације оптимизованих модела ОВ у односу на фазе животног циклуса фасадног сегмента.....	144
Табела 18. Резултати прорачуна потенцијала еутрофикације оптимизованих модела ОА у односу на фазе животног циклуса фасадног сегмента.....	145
Табела 19. Резултати прорачуна потенцијала формирања фото-хемијског озона оптимизованих модела ОВ у односу на фазе животног циклуса фасадног сегмента	147
Табела 20. Потрошња минералних ресурса оптимизованих модела ОВ у односу на фазе животног циклуса фасадног сегмента.....	148
Табела 21. Потрошња фосилних ресурса оптимизованих модела ОА у односу на фазе животног циклуса фасадног сегмента	149
Табела 22. Укупна потрошња обновљивих извора енергије оптимизованих модела ОА фасадних сегмената по фазама животног циклуса.....	151
Табела 23. Укупна потрошња необновљивих извора енергије оптимизованих модела ОВ фасадних сегмената по фазама животног циклуса.....	152
Табела 24. Количина одложеног штетног отпада оптимизованих модела ОВ по фазама животног циклуса фасадног сегмента	153
Табела 25. Количина одложеног неопасног отпада оптимизованих модела ОА по фазама животног циклуса фасадног сегмента.....	154
Табела 26. Количина одложеног радиоактивног тпада оптимизованих модела ОА по фазама животног циклуса фасадног сегмента.....	156

БИОГРАФИЈА АУТОРА

Анђела (Дубљевић) Посавец је рођена 1990. године у Чачку, где је завршила основну школу и Гимназију. Године 2009. уписује Архитектонски факултет Универзитета у Београду, где завршава Основне академске студије (2012) са просечном оценом 9,30, а потом и Мастер академске студије - смер архитектура (2014) са просечном оценом 9,73. Исте године уписује Докторске академске студије - област архитектура и урбанизам, у оквиру којих је положила све испите предвиђене наставним планом, чиме стиче услов за пријаву докторске дисертације. Током школовања била је стипендиста Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

У периоду од фебруара 2015. до фебруара 2018. године је била запослена на Универзитету у Београду - Архитектонски факултет у звању: Асистент на Департману за Архитектонске технологије за ужу научну, односно уметничку област: Архитектонске конструкције, материјали и физика зграда. Као асистент је радила на предметима у оквиру основних и мастер академских студија.

Од 2018. године ради као архитекта у Немачкој, где поседује лиценцу за одговорног пројектанта издату од стране Архитектонске коморе у Хамбургу. У пракси се бави израдом идејних, главних и извођачких пројеката, припремањем документације за добијање грађевинске дозволе, проценом и прорачуном трошкова, као и координацијом процеса планирања сложених објеката.

Течно говори енглески и немачки језик, и служи се италијанским језиком.

У научним истраживањима се бави применом одрживог дизајна у архитектури, са нагласком на примени концепта циркуларне економије током процеса планирања објеката. Тежи примени теоретских сазнања из савремених научних истраживања у архитектонској пракси.

ИЗЈАВА О АУТОРСТВУ

Име и презиме аутора: Анђела Н. Посавец

Број индекса: 2014 /Д1

ИЗЈАВЉУЈЕМ

да је докторска дисертација под насловом

ОПТИМИЗАЦИЈА ФАСАДА ВИСОКИХ ОБЈЕКТА ПРИМЕНОМ ПРИНЦИПА ЦИРКУЛАРНЕ ЕКОНОМИЈЕ

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да дисертација у целини ни у деловима није била предложена за стицање друге дипломе према студијским програмима других високошколских установа;
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршила ауторска права и користила интелектуалну својину других лица.

Потпис аутора

У Београду, _____

**ИЗЈАВА О ИСТОВЕТНОСТИ ШТАМПАНЕ И ЕЛЕКТРОНСКЕ ВЕРЗИЈЕ
ДОКТОРСКОГ РАДА**

Име и презиме: Анђела Н. Посавец

Број индекса: 2014/Д1

Студијски програм: Докторске академске студије / Архитектура и урбанизам

Наслов рада: **ОПТИМИЗАЦИЈА ФАСАДА ВИСОКИХ ОБЈЕКТА ПРИМЕНОМ
ПРИНЦИПА ЦИРКУЛАРНЕ ЕКОНОМИЈЕ**

Ментор: др Будимир Судимац, редовни професор
Универзитет у Београду – Архитектонски факултет

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предала ради похрањивања у **Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског назива доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис аутора

У Београду, _____

ИЗЈАВА О КОРИШЋЕЊУ

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

ОПТИМИЗАЦИЈА ФАСАДА ВИСОКИХ ОБЈЕКТА ПРИМЕНОМ ПРИНЦИПА ЦИРКУЛАРНЕ ЕКОНОМИЈЕ

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду и доступну у отвореном приступу могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучила.

1. Ауторство (CC BY)
2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)
- 3. Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)**
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)
5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND)
6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци. Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве).

Потпис аутора

У Београду, _____

1. Ауторство. Дозвољавање умножавања, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.

2. Ауторство – некомерцијално. Дозвољавање умножавања, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.

3. Ауторство – некомерцијално – без прерада. Дозвољавање умножавања, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.

4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима. Дозвољавање умножавања, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.

5. Ауторство – без прерада. Дозвољавање умножавања, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.

6. Ауторство – делити под истим условима. Дозвољавање умножавања, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.