

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
АРХИТЕКТОНСКИ ФАКУЛТЕТ

Илија Р. Бошковић

**ФОРМИРАЊЕ МОДЕЛА ЗА ПРОЦЕНУ  
ЖИВОТНОГ ЦИКЛУСА БЕТОНА ОД  
КОНОПЉЕ И КРЕЧА У КОНТЕКСТУ СРБИЈЕ**

Докторска дисертација

Београд, 2023.

UNIVERSITY OF BELGRADE  
FACULTY OF ARCHITECTURE

Ilija R. Bošković

**CREATING LIFE CYCLE ASSESSMENT MODELS  
FOR HEMP LIME CONCRETE IN THE CONTEXT  
OF SERBIA**

Doctoral dissertation

Belgrade, 2023.

Ментор:

Проф. др Ана Радивојевић, редовни професор  
Универзитет у Београду, Архитектонски факултет

Чланови комисије:

Проф. др Наташа Ђуковић Игњатовић, ванредни професор  
Универзитет у Београду, Архитектонски факултет

Проф. др Саја Косановић, редовни професор  
Универзитет у Приштини, Факултет техничких наука Косовска Митровица

Проф. др. Милан Кекановић, ванредни професор  
Универзитет у Новом Саду, Грађевински факултет Суботица

Датум одбране: \_\_\_\_\_

# ФОРМИРАЊЕ МОДЕЛА ЗА ПРОЦЕНУ ЖИВОТНОГ ЦИКЛУСА БЕТОНА ОД КОНОПЉЕ И КРЕЧА У КОНТЕКСТУ СРБИЈЕ

## Резиме

Грађевинска индустрија је заслужна за значајне емисије материја које негативно утичу на животну средину. Суочени са климатским променама и другим еколошким проблемима примена еколошки одрживијих грађевинских материјала постаје високи приоритет. Грађевински материјали на биолошкој основи могу бити еколошки исправни пошто могу да користе обновљиве сировине које током развоја везују угљен диоксид фотосинтезом и на крају животног века се могу разградити или рециклирати. Током XX и почетком XXI века стратегије еколошке одрживости и енергетске ефикасности нису значајно разматране у градитељској пракси у Србији. Увођењем „Правилника за енергетску ефикасност зграда“ у 2011. години формиран је оквир за смањивање потрошње оперативне енергије у објектима, али уграђени еколошки утицаји који су последица грађевинске праксе су и даље формално запостављени. Упоредо са све већим интересовањем за узгој индустријске конопље, бетон од конопље и креча је идентификован као потенцијално еколошки исправан грађевински материјал који се може применити у новоградњи, енергетској санацији постојећих објеката и рестаурацији објеката градитељског наслеђа. Формира се мешањем поздера индустријске конопље са композитним везивом на бази креча и водом и превасходно користи за изградњу зидова у комбинацији са дрвеном конструкцијом око које се материјал излива. Применом методологије процене животног циклуса истраживање циља да дефинише еколошки утицај животног века бетона од конопље и креча у контексту Србије. Кроз серију анализа осетљивости које испитују еколошке утицаје варирања кључних параметара попут фактора везивања CO<sub>2</sub> у поздеру, фактора карбонатизације везива, приноса индустријске конопље, раздаљине превоза сировина на локацију и степена формирања грађевинског отпада приликом изградње формирана су три основна сценарија која указују на широк спектар еколошких утицаја животног циклуса зида од бетона од конопље и креча. Испитани су и еколошки утицаји различитог степена разградње поздера на крају животног века, префабрикације бетона од конопље и креча у блокове и различитих стратегија обраде зида. Поређењем са животним циклусом типичне грађевинске праксе у новоградњи и санацији стамбених објеката у Србији, уочено је да је бетон од конопље и креча еколошки исправан грађевински материјал и да је супериоран у готово свим анализираним еколошким показатељима.

**Кључне речи**

Бетон од конопље и креча, материјали на биолошкој бази, процена животног циклуса, животни циклус грађевинских материјала, зидне конструкције, глобално загревање, енергетска санација.

Научна област: Архитектура и Урбанизам

УДК: 691.51:633.522(497.11)(043.3)

# CREATING LIFE CYCLE ASSESSMENT MODELS FOR HEMP LIME CONCRETE IN THE CONTEXT OF SERBIA

## Abstract

The construction industry is responsible for significant emissions of substances that negatively impact the environment. Faced with climate change and other environmental issues, the use of more environmentally sustainable building materials has become a high priority. Bio-based building materials can be environmentally sustainable as they can make use of renewable raw materials that sequester carbon dioxide through photosynthesis and can biodegrade or be recycled at end of life. During the XX century and beginning of the XXI century the concepts of environmental sustainability and energy efficiency weren't particularly considered in the Serbian construction industry. With the implementation of the "Rulebook for the energy efficiency of buildings" in 2011 a framework for the reduction of operational energy in buildings was formed, but the embodied environmental impacts of construction practices are still formally neglected. In conjunction with the rising interest for growing industrial hemp, hemp-lime concrete is identified as a potentially environmentally sustainable building material that can be used in new builds, the energy renovation of existing buildings and the restoration of historical buildings. It's formed by mixing industrial hemp shives with a composite lime based binder and water and is primarily used for the construction walls by casting around a timber stud frame. Using life cycle assessment methodology the study aims to define the life cycle environmental impacts of hemp-lime concrete in the context of Serbia. Through a series of sensitivity analyses that examine the environmental impacts of varying key parameters like the hemp shiv carbon dioxide sequestration factor, binder carbonation factor, industrial hemp yield, material transport distance and building site waste formation rate, three primary scenarios demonstrating the wide range of environmental impacts associated with the life cycle of hemp-lime concrete wall are developed. The environmental impacts of variable hemp shiv degradation factors at end of life, prefabricating hemp-lime concrete into blocks and various wall finishes were also examined. Through comparisons with the life cycle of typical residential construction practices in Serbia, it is observed that hemp-lime concrete can be considered an environmentally sustainable building material and that it is superior in virtually all of the examined environmental impact categories.

**Keywords**

Hemp lime concrete, bio based building material, life cycle assessment, life cycle of building materials, wall constructions, global warming, energy renovation.

Scientific field: Architecture and Urbanism

UDC: 691.51:633.522(497.11)(043.3)

# Садржај

Резиме.....	i
Abstract.....	iii
Садржај .....	v
Списак скраћеница.....	x
Списак табела.....	xi
Списак слика.....	xiii
1. Увод.....	1
1.1 Проблем и предмет истраживања.....	2
1.2 Циљеви научног истраживања.....	5
1.3 Задаци научног истраживања.....	5
1.4 Полазне хипотезе научног истраживања .....	6
1.5 Научне методе истраживања.....	7
1.6 Научна оправданост, очекивани резултати и практична примена истраживања.....	7
2. Сазнања о бетону од конопље и креча.....	9
2.1 Сировине за формирање бетона од конопље и креча .....	11
2.1.1 Структура и својства поздера индустријске конопље .....	11
2.1.2 Структура и својства везива.....	13
2.1.2.1 Грађевински креч.....	15
2.1.2.2 Пуцолани .....	19
2.1.2.3 Портланд цемент.....	20
2.2 Физичка својства бетона од конопље и креча .....	21
2.2.1 Кретање влаге кроз бетон од конопље и креча .....	22
2.2.2 Кретање топлоте кроз бетон од конопље и креча.....	24
2.2.3 Резиме о хигротермалним својствима.....	27
2.2.4 Отпорност бетона од конопље и креча на пожар.....	28
2.3 Примена бетона од конопље и креча.....	30
2.3.1 Изградња зидова од бетона од конопље и креча.....	30
2.3.1.1 <i>In situ</i> примена бетона од конопље и креча.....	31
2.3.1.2 Префабриковани елементи од бетона од конопље и креча.....	38
2.3.1.3 Обрада зида од бетона од конопље и креча.....	41
2.3.2 Примена бетона од конопље и креча у крововима и подовима.....	43



3. Контекст примене бетона од конопље и креча у Србији .....	45
3.1 Контекст производње сировина за бетон од конопље и креча у Србији .....	45
3.2 Постојећи грађевински фонд у Србији .....	50
3.3 Досадашња примена бетона од конопље и креча у Србији .....	53
4. Животни циклус бетона од конопље и креча .....	55
4.1 Проблем валоризације еколошке исправности грађевинских материјала.....	55
4.2 Методологија процене животног циклуса .....	57
4.3 Еколошке декларације грађевинских производа ( <i>Environmental Product Declaration - EPD</i> ) .....	59
4.4 Анализа постојећих истраживања о животном циклусу бетону од конопље и креча .....	65
4.4.1 Циљ и обим постојећих процена животног циклуса бетона од конопље и креча .....	65
4.4.2 Анализа инвентара постојећих процена животног циклуса бетона од конопље и креча .....	77
4.4.3 Фаза производње (А1-А3) .....	79
4.4.3.1 Производња поздера индустријске конопље.....	79
4.4.3.2 Производња везива за бетон од конопље и креча.....	85
4.4.3.3 Производња дрвене грађе.....	87
4.4.3.4 Производња блокова.....	89
4.4.4 Фаза изградње (А4 и А5) .....	89
4.4.5 Фаза коришћења (Б1 до Б7).....	92
4.4.6 Фаза одлагања (Ц1-Ц4).....	96
5. Методолошки оквир за процену животног циклуса бетона од конопље и креча .....	99
5.1 Циљ и обим процене животног циклуса бетона од конопље и креча у контексту Србије ..	99
5.1.1 Функционална јединица А .....	99
5.1.2 Анализе осетљивости сценарији П и О.....	101
5.1.3 Алтернативни сценарији примене бетона од конопље и креча.....	102
5.1.4 Модел процене животног циклуса и еколошки показатељи.....	103
5.2 Анализа инвентара процене животног циклуса бетона од конопље и креча у контексту Србије.....	106
5.2.1 Преузимање података за анализу инвентара .....	106
5.2.2 Дефинисање превоза у процени животног циклуса .....	108
5.3 Анализа инвентара: Основна функционална јединица А и сценарији П и О.....	110
5.3.1 Фаза производње: Основна функционална јединица А и сценарији П и О (А1-А3)..	112
5.3.1.1 Производња поздера индустријске конопље.....	112

5.3.1.2	Производња везива .....	115
5.3.1.3	Производња сушене резане грађе.....	118
5.3.2	Фаза изградње: Основна функционална јединица А и сценарији П и О (А4-А5) .....	119
5.3.3	Фаза коришћења: Основна функционална јединица А и сценарији П и О (Б1-Б7)....	122
5.3.4	Фаза одлагања: Основна функционална јединица А и сценарији П и О (Ц1-Ц4) .....	123
5.4	Алтернативни сценарио фазе одлагања (А+Ф <sub>О<sub>DOC/CE</sub></sub> ) .....	125
5.5	Еколошки утицај префабрикације бетона од конопље и креча у блокове (Сценарио Б)...	126
5.5.1	Циљ и обим: Сценарио Б.....	126
5.5.2	Анализа Инвентара: Префабрикација у блокове (Сценарио Б).....	129
5.5.2.1	Фаза производње.....	131
5.5.2.2	Фаза изградње .....	131
5.5.2.3	Фаза коришћења.....	132
5.5.2.4	Фаза одлагања .....	132
5.6	Еколошки утицај обраде функционалне јединице А (А+М <sub>КТ</sub> , А+М <sub>ПХК</sub> и А+ВФ <sub>ДА</sub> ) .....	133
5.6.1	Анализа инвентара сценарио А+М <sub>КТ</sub> .....	133
5.6.2	Анализа инвентара сценарио А+М <sub>ПХК</sub> .....	137
5.6.3	Анализа инвентара сценарио А+ВФ <sub>Д</sub> .....	138
5.7	Еколошки утицај различитих режима обнова завршних обрада зида .....	139
6.	Процена животног циклуса бетона од конопље и креча.....	140
6.1	Процена животног циклуса: Основна функционална јединица А.....	140
6.2	Процена животног циклуса: Сценарио П и О .....	145
6.3	Процена животног циклуса: Алтернативни сценарио фазе одлагања (А+Ф <sub>О<sub>DOC/CE</sub></sub> ).....	153
6.4	Процена животног циклуса: префарбрикација бетона од конопље и креча.....	158
6.4.1	Процена животног циклуса сценарија Б <sub>32</sub> .....	158
6.4.2	Процена животног циклуса сценарији Б <sub>27</sub> и Б <sub>и</sub> .....	161
6.4.3	Компаративна анализа сценарија префабрикације бетона од конопље и креча .....	161
6.5	Процена животног циклуса: Утицај завршне обраде .....	166
6.5.1	Процена животног циклуса сценарија А+М <sub>КТ</sub> .....	166
6.5.2	Процена животног циклуса сценарија А+М <sub>ПХК</sub> и А+ВФ <sub>ДА</sub> .....	170
6.5.3	Компаративна анализа сценарија завршне обраде функционалне јединице А.....	171
6.6	Процена животног циклуса: Утицај различитих режима обнове завршне обраде .....	175
6.7	Поређење резултата са досадашњим научним истраживањима.....	177

7. Компаративна анализа животног циклуса зида од бетона од конопље и креча и типичне праксе новоградње и енергетске санације постојећих објеката у Србији.....	180
7.1 Циљ и обим.....	180
7.1.1 Функционална јединица Т.....	180
7.1.2 Дефинисање сценарија за компаративну анализу конструкција од бетона од конопље и креча и типичне праксе у новоградњи у Србији.....	181
7.1.3 Анализе осетљивости за компаративну анализу конструкција од бетона од конопље и креча са типичном грађевинском праксом у новоградњи.....	183
7.2 Анализа инвентара у склопу компаративне анализе конструкција од бетона од конопље и креча типичне грађевинске праксе у Србији.....	184
7.2.1 Анализа инвентара: Функционална јединица Т.....	184
7.2.2 Анализа инвентара: Конструкције од бетона од конопље и креча дефинисане за компаративну анализу са типичном грађевинском праксом у Србији.....	189
7.2.2.1 Анализа инвентара: Сценарио Гб.....	189
7.2.2.2 Анализа инвентара: Конструкције од бетона од конопље и креча са обрадом од кречног теста (Сценарији А+М <sub>КТ</sub> , П+М <sub>КТ</sub> , О+М <sub>КТ</sub> и Би+М <sub>КТ</sub> ).....	190
7.2.2.3 Анализа инвентара: Конструкције од бетона од конопље и креча са обрадом од кречног теста и алтернативном фазом одлагања.....	191
7.2.3 Анализа инвентара : Анализа осетљивости за режим обнова завршних обрада у фази коришћења (+ФК <sub>П</sub> /+ФК <sub>О</sub> ).....	191
7.2.4 Анализа осетљивости: Варијација коефицијента пролаза топлоте (+U=0.24/+U=0.18).....	192
7.3 Процена животног циклуса: Функционална јединица Т.....	195
7.4 Процена животног циклуса: компаративна анализа типичне праксе у новоградњи и зидова од бетона од конопље и креча.....	199
7.5 Процена животног циклуса: Анализа осетљивости - Режим обнова завршних обрада у фази коришћења (+ФК <sub>П</sub> /+ФК <sub>О</sub> ).....	205
7.6 Процена животног циклуса: Анализа осетљивости - Варијација коефицијента пролаза топлоте (+U=0.24/+U=0.18).....	209
7.7 Стратегије енергетске санације постојећих зиданих конструкција (Стб+... и Стб+...).....	214
7.7.1 Анализа инвентара: Стратегије енергетске санације постојећих зиданих конструкција.....	214
7.7.2 Процена животног циклуса: Компаративна анализа стратегија енергетске санације постојећих зиданих конструкција (Стб+/Стб+).....	219
8. Закључак.....	228
8.1 Закључна разматрања.....	228
8.2 Правци даљег истраживања.....	233

Литература.....	235
Извори илустрација .....	252
Прилози.....	256
Прилог А: Додатни резултати процена животног циклуса.....	257
Прилог Б: Анализа инвентара за функционалну јединицу А .....	271
Прилог Ц: Анализа инвентара за префабрикацију бетона од конопље и креча у блокове (Б <sub>32</sub> и Би) .....	297
Прилог Д: Анализа инвентара сценарија А+М <sub>КТ</sub> .....	310
Прилог Е: Анализа инвентара за сценарио А+М <sub>ПХК</sub> .....	323
Прилог Ф: Анализа инвентара сценарија А+ВФ <sub>д</sub> .....	329
Прилог Г: Анализа инвентара функционалне јединице Т.....	342
Прилог Х: Анализа инвентара Сценарија Гб.....	360
Биографија .....	368
Изјава о ауторству.....	369
Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада .....	370
Изјава о коришћењу.....	371

## Списак скраћеница

$\lambda$  – топлотна проводљивост (W/mK)

$\rho$  – густина (kg/m<sup>3</sup>)

U – коефицијент пролаза топлоте (W/m<sup>2</sup>K)

ФЈ – Функционална јединица

LCA – процена животног циклуса (*Life Cycle Assessment*)

LCI – инвентар животног циклуса (*Life Cycle Inventory*)

LCIA – процена еколошких утицаја животног циклуса (*Life Cycle Impact Assessment*)

EPD – Еколошка декларација производа (*Environmental Product Declaration*)

GWP - потенцијал глобалног загревања (*Global warming potential*)

AP - потенцијал ацидификације (*Acidification potential*)

EP - потенцијал еутрофикације (*Eutrophication potential*)

POCP - потенцијал стварања фотохемијског озона (*Photochemical ozone formation potential*)

ODP - потенцијал трошења стратосферског озона (*Stratospheric ozone depletion potential*)

ADP - потенцијал трошења абиотских ресурса (*Abiotic depletion potential*)

ADPf - потенцијал трошења фосилних ресурса (*Fossil fuel depletion potential*)

CEN – Европски Комитет за Стандардизацију (*European Committee for Standardization*)

ISO – Међународна Организација за Стандардизацију (*International Organization for Standardization*)

МГСИ РС – Министарство Грађевинарства, Саобраћаја и Инфраструктуре Републике Србије

МЗЖС РС – Министарство Заштите Животне Средине Републике Србије

МПШВ РС - Министарство Пољопривреде, Шумарства и Водопривреде Републике Србије

РЗС – Републички Завод за Статистику

НАКС - Национално Удружења Конопљара Србије

## Списак табела

**Табела 2.1:** Састави везива бетона од конопље и креча у научној литератури

**Табела 2.2:** Класификација природног хидрауличног креча према *EN 459-1* (CEN 2015)

**Табела 2.3:** Хигроскопни капацитет бетона од конопље и креча и других грађевинских материјала

**Табела 2.4:** Термичка својства бетона од конопље и креча и других грађевинских материјала

**Табела 2.5:** Механичка и термичка својства типичних мешавина бетона од конопље и креча (Shea, Walker & Lawtence 2012), на основу резултата из (Cerezo 2005)

**Табела 4.1:** Модули у животном веку производа према стандарду *EN 15804*

**Табела 4.2:** Еколошки показатељи који се процењују према стандарду *EN 15804:2012+A1:2013*

**Табела 4.3:** Еколошки показатељи који се процењују према *PEF* и стандарду *EN 15804:2012+A2:2019* (Zampori & Pant 2019)

**Табела 4.4:** Циљ и обим постојећих истраживања о животном циклусу бетона од конопље и креча

**Табела 4.5:** Својства функционалних јединица дефинисаних у постојећим истраживањима процене животног циклуса бетона од конопље и креча

**Табела 4.6:** Параметри који се анализирају у постојећим проценама животног циклуса бетона од конопље и креча

**Табела 4.7:** Границе система у постојећим проценама животног циклуса бетона од конопље и креча

**Табела 4.8:** Анализа инвентара производње поздера у постојећим проценама животног циклуса бетона од конопље и креча

**Табела 4.9:** Уноси по хектару за производњу индустријске конопље и других прехранбених и индустријских усева (Van der Werf 2004)

**Табела 4.10:** Очекивани фактори везивања CO<sub>2</sub> према измереном садржају угљеника и садржају воде у поздеру

**Табела 4.11:** Својства везива у постојећим проценама животног циклуса бетона од конопље и креча

**Табела 4.12:** Анализа инвентара дрвене грађе у постојећим проценама животног циклуса бетона од конопље и креча

**Табела 4.13:** Састав функционалних јединица и анализа инвентара за фазу изградње у постојећим проценама животног циклуса бетона од конопље и креча

**Табела 4.14:** Карбонатизација везива у постојећим проценама животног циклуса бетона од конопље и креча

**Табела 4.15:** Анализа инвентара фазе одлагања постојећих процена животног циклуса бетона од конопље и креча

**Табела 5.1:** Списак еколошких показатеља који се процењује у истраживању

**Табела 5.2:** Класификација друмских теретних возила у *Ecoinvent* бази података

**Табела 5.3:** Унутрашњи превоз робе у друмском саобраћају у Србији (Републички Завод за Статистику 2012, РЗС 2013, РЗС 2015, РЗС 2017, РЗС 2019, РЗС 2021, РЗС 2022а и РЗС 2022б)

**Табела 5.4:** Анализа инвентара за варијабиле испитане кроз сценарије П и О

**Табела 5.5:** Примењени фактор карбонатизације везива у функционалној јединици А и сценаријима П и О

**Табела 5.6:** Својства сценарија Б<sub>32</sub>, Б<sub>27</sub> и Би у односу на функционалну јединицу А

**Табела 5.7:** Својства сценарија А+М<sub>КТ</sub>, А+М<sub>ПХК</sub> и А+ВФ<sub>Д</sub> у односу на функционалну јединицу А

**Табела 5.8:** Режији обнова сценарија А+М<sub>КТ</sub> током животног века од 100 година

**Табела 6.1:** Еколошки утицаји животног века функционалне јединице А

**Табела 6.2:** Еколошки утицаји животног века сценарија П и О

**Табела 6.3:** Поређење еколошких утицаја животног века сценарија П и О

**Табела 6.4:** Еколошки утицаји животног века комбинованих сценарија у оквиру граница сценарија П и О

**Табела 6.5:** Показатељ потенцијала глобалног загревања (*GWP*) (kgCO<sub>2eq.</sub>) према степену разградње органског угљеника (*DOC<sub>F</sub>*) и ефикасности скупљања гасова стаклене баште (*CE*)

**Табела 6.6:** Однос емисија гасова стаклене баште након разградње поздера на депонији и количине гасова стаклене баште везаних у поздеру током узгоја индустријске конопље

**Табела 6.7:** Еколошки утицаји животног века сценарија Б<sub>32</sub>

**Табела 6.8:** Еколошки утицај животног циклуса зидова од префарбрикованих блокова од бетона од конопље и креча у односу на функционалну јединицу А

**Табела 6.9:** Еколошки утицаји животног века сценарија А+М<sub>КТ</sub>

**Табела 6.10:** Еколошки утицај животног циклуса сценарија А+М<sub>КТ</sub> у односу на функционалну јединицу А

**Табела 6.11:** Поређење еколошких утицаја животног циклуса сценарија А+М<sub>ПХК</sub> и А+ВФ<sub>ДА</sub> са резултатима сценарија А+М<sub>КТ</sub>

**Табела 6.12:** Еколошки утицаји различитих режима обнова завршне обраде у сценарију А+М<sub>КТ</sub>

**Табела 6.13:** Поређење потенцијала глобалног загревања (*GWP*) функционалне јединице А са резултатима постојећих истраживања о животног циклусу бетона од конопље и креча

**Табела 7.1:** Сценарији дефинисани за компаративну анализу са функционалном јединицом Т

**Табела 7.2:** Пресек и садржај функционалне јединице Т

**Табела 7.3:** Потенцијални животни век грађевинских производа

**Табела 7.4:** Састав сценарија дефинисаних за компаративну анализу са функционалном јединицом Т

**Табела 7.5:** Режији обнова завршних обрада зидова током животног века од 100 година

**Табела 7.6:** Утицај варирања коефицијента пролаза топлоте на функционалну јединицу Т и сценарије А+М<sub>КТ</sub> и Би+М<sub>КТ</sub>

**Табела 7.7:** Еколошки утицаји животног века функционалне јединице Т

**Табела 7.8:** Еколошки утицаји сценарија Гб, А+М<sub>КТ</sub>, П+М<sub>КТ</sub>, О+М<sub>КТ</sub> и Би+М<sub>КТ</sub> у односу на функционалну јединицу Т

**Табела 7.9:** Поређење фазе производње (А1-А3) функционалне јединице Т и сценарија А+М<sub>КТ</sub>

**Табела 7.10:** Утицај разградње поздера (+Ф<sub>О23%/75%</sub>) на потенцијал глобалног загревања сценарија А+М<sub>КТ</sub>, П+М<sub>КТ</sub>, О+М<sub>КТ</sub> и Би+М<sub>КТ</sub>

**Табела 7.11:** Еколошки утицаји различитих режима обнова завршних обрада зидова

**Табела 7.12:** Утицај разградње поздера (+ФО<sub>23%/75%</sub>) на потенцијал глобалног загревања (*GWP*) сценарија у контексту варирања режима завршних обрада

**Табела 7.13:** Еколошки утицај варирање коефицијента пролаза топлоте у функционалној јединици Т и сценаријима А+М<sub>КТ</sub> и Би+М<sub>КТ</sub> (+*U*=0.24/+*U*=0.18)

**Табела 7.14:** Утицај разградње поздера (+ФО<sub>23%/75%</sub>) на потенцијал глобалног загревања (*GWP*) сценарија А+М<sub>КТ</sub>, А+М<sub>КТ</sub>+*U*=0.24/0.18 и Би+М<sub>КТ</sub>+*U*=0.24/0.18 у односу на функционалну јединицу Т

**Табела 7.15:** Стратегије енергетске санације постојеће зидане конструкције од термо блокова

**Табела 7.16:** Стратегије енергетске санације постојеће зидане конструкције од гитер блокова

**Табела 7.17:** Еколошки утицај санације постојеће конструкције од гитер блокова са животним веком од 50 година (Сгб<sub>50</sub>)

**Табела 7.18:** Еколошки утицај санације постојеће конструкције од термо блокова са животним веком од 50 година (Стб<sub>50</sub>)

**Табела 7.19:** Еколошки утицај санације постојеће конструкције од гитер блокова са животним веком од 100 година (Сгб<sub>100</sub>)

**Табела 7.20:** Еколошки утицај санације постојеће конструкције од термо блокова са животним веком од 100 година (Стб<sub>100</sub>)

## Списак слика

**Слика 2.1:** Необрађен бетон од конопље и креча у бондрук конструкцији (Stanwix 2012)

**Слика 2.2:** Кућа у Ножен сур Сен (Coulouris 2006)

**Слика 2.3:** Биљка индустријске конопље (Roos 2018)

**Слика 2.4:** Структура стабла индустријске конопље (Ingrao et al 2015)

**Слика 2.5:** Расути смрвљени поздер индустријске конопље (Glé, Gourdon & Arnaud 2011)

**Слика 2.6:** *Chanvribat* упаковани поздер за примену у бетону од конопље од креча (Tradical 2016a)

**Слика 2.7:** Увећан пресек бетона од конопље и креча (Collet et al. 2013)

**Слика 2.8:** Кретање влаге према релативној влажности бетона од конопље и креча (Evrard 2008)

**Слика 2.9:** Мерења релативне влажности и температуре у експерименталном објекту од бетона од конопље и креча (Shea, Lawrence & Walker 2012).

**Слика 2.10:** *In situ* зид од бетона од конопље и креча у изградњи (Stanwix 2013)

**Слика 2.11:** Основа зида од бетона од конопље и креча са централно постављеном носећом конструкцијом (Tradical n.d)

**Слика 2.12:** Пресек зида од бетона од конопље и креча са централно позиционираном дрвеном конструкцијом (Tradical n.d)

**Слика 2.13:** Изометријски приказ односа дрвене конструкције и бетона од конопље и креча

Примпремио аутор



**Слика 2.14:** Прскање бетона од конопље и креча под притиском у полу затворену дрвену конструкцију (Hempitecture 2020)

**Слика 2.15:** Пресеци зида од бетона од конопље и креча са алтернативно позиционираном дрвеном конструкцијом (Tradical n.d)

**Слика 2.16:** *In situ* зид од бетона од конопље и креча изграђен испред скелетне конструкције од храста (UKHempcrete 2013)

**Слика 2.17:** Бетонску конструкцију са *in situ* бетоном од конопље и креча (Barrault Pressacco 2019)

**Слика 2.18:** Сценарији санације зида са *in situ* бетоном од конопље и креча (Weber-Tradical n.d.a)

**Слика 2.19:** Припрема објекта са бондрук конструкцијом за рестаурацију са бетоном од конопље и креча (Stanwix 2013)

**Слика 2.20:** Примена бетона од конопље и креча преко чатме (Stanwix 2013)

**Слика 2.21:** Зид од блокова од бетона од конопље и креча са скелетном конструкцијом од храста (Sparrow 2019)

**Слика 2.22:** Зид од блокова од бетона од конопље и креча са челичном скелетном конструкцијом (UKHempcrete 2017)

**Слика 2.23:** Конструкција од ламелираног дрвета са префабрикованим блоковима и *in situ* бетоном од конопље и креча (UKHempcrete n.d.)

**Слика 2.24:** Два реда блокова од бетона од конопље и креча око дрвене конструкције (Isohemp 2018)

**Слика 2.25:** Блокови од бетона од конопље и креча у сендвич конструкцији (Isohemp 2015)

**Слика 2.26:** Блокови од бетона од конопље и креча између дрвене конструкције (UKHempcrete n.d.)

**Слика 2.27:** Блокови од бетона од конопље и креча постављени са унутрашње стране објекта (Isohemp 2018b)

**Слика 2.28:** Блокови од бетона од конопље и креча као спољашња термоизолација зида од бетонских блокова (Isohemp 2016)

**Слика 2.29:** Приказ конструкције изграђене користећи *Biosys*® блокове и армиран бетон (Solution Biosys n.d.)

**Слика 2.30:** Производња префабрикованог панела (Practice Architecture 2019)  
Practice Architecture. 2019. "Flat house".

**Слика 2.31:** Необрађени панели од бетона од конопље и креча унутар *Flat* куће (Practice Architecture 2019)

**Слика 2.32:** Фасадни панели од конопљиних влакана на *Flat* кући (Levy 2020)

**Слика 2.33:** Конструкција косог крова са изолацијом од бетона од конопље и креча (Weber-Tradical n.d.b)

**Слика 2.34:** Коси кров са изолацијом од бетона од конопље и креча (Weber-Tradical n.d.b)

**Слика 2.35:** Конструкција пода од бетона од конопље и креча (Weber-Tradical n.d.c)

**Слика 2.36:** Под од бетона од конопље и креча (Weber-Tradical n.d.c)

**Слика 3.1:** Мапа потенцијалних сировина за бетон од конопље и креча (Аутор, Извор мапе: D-maps n.d.)

**Слика 3.2:** Кућа Живојина Мишића у Струганику, пример очуване полубрвнаре из XIX века (Аутор)

**Слика 3.3:** Традиционална кућа у оронолом стању

**Слика 3.4:** Основа и пресек типичних спољашњих зидова на стамбеним објектима у Србији (Аутор)

**Слика 3.5:** Кућа од бетона од конопље и креча на Хомољским планинама (Milovanović 2021a)

**Слика 3.6:** Унутрашњост куће од бетона од конопље и креча на Хомољским планинама (Milovanović 2021)

**Слика 4.1:** Методологија израде процене животног циклуса (ISO 2006a)

**Слика 4.2:** Животни циклус зида од бетона од конопље и креча

**Слика 5.1:** Основа функционалне јединице А

**Слика 5.2:** Концептуална шема резултата тремана отпада у моделу „*allocation, cut off by classification*“

**Слика 5.3:** Животни циклус функционалне јединице А

**Слика 5.4:** Анализа инвентара за производњу поздера индустријске конопље

**Слика 5.5:** Анализа инвентара за производњу везива за бетон од конопље и креча

**Слика 5.6:** Анализа инвентара за производњу сушене резане дрвене грађе

**Слика 5.7:** Анализа инвентара животног циклуса сценарија Б<sub>32</sub>

**Слика 5.8:** Анализа инвентара животног циклуса сценарија А+М<sub>КТ</sub>

**Слика 6.1:** Релативни еколошки утицаји процеса у животном веку функционалне јединице А

**Слика 6.2:** Релативни биланс емисија гасова стаклене баште током животног века функционалне јединице А

**Слика 6.3:** Еколошки утицај варијација фактора за везивање CO<sub>2</sub> на потенцијал глобалног загревања (*GWP*)

**Слика 6.4:** Еколошки утицаји животног века сценарија П и О

**Слика 6.5:** Утицај варијације степена разградње органског угљеника и ефикасности скупљања гасова стаклене баште на потенцијал глобалног загревања (*GWP*)

**Слика 6.6:** Утицај алтернативног сценарија фазе одлагања (+FO<sub>23%/75%</sub>) на потенцијал глобалног загревања (*GWP*)

**Слика 6.7:** Релативни еколошки утицаји процеса у животном циклусу сценарија Б<sub>32</sub>

**Слика 6.8:** Еколошки утицај животног циклуса сценарија Б, Б<sub>320</sub>, Б<sub>270</sub> и Би

**Слика 6.9:** Релативни еколошки утицаји процеса у животном веку сценарија А+М<sub>КТ</sub>

**Слика 6.10:** Еколошки утицај животног циклуса сценарија А+М<sub>КТ</sub>, А+М<sub>ПХК</sub> и А+ВФ<sub>Д</sub>

**Слика 6.11:** Еколошки утицај животног циклуса сценарија А+М<sub>КТ</sub>, А+М<sub>КТ</sub>+ФК<sub>П</sub> и А+М<sub>КТ</sub>+ФК<sub>О</sub>

**Слика 7.1:** Основа функционалне јединице Т

**Слика 7.2:** Анализа инвентара животног циклуса функционалне јединице Т

**Слика 7.3:** Релативни еколошки утицаји процеса у животном веку функционалне јединице Т

**Слика 7.4:** Еколошки утицаји типичне праксе у новоградњи и конструкција од бетона од конопље и креча

**Слика 7.5:** Еколошки утицај варирања режима обнова завршних обрада

**Слика 7.6:** Еколошки утицај варирања коефицијента пролаза топлоте

**Слика 7.7:** Основа сценарија Стб и Стб

**Слика 7.8:** Еколошки утицај енергетске санације постојећих конструкција од гитер (Стб<sub>50</sub>) и термо (Стб<sub>50</sub>) блокова

**Слика 7.9:** Еколошки утицај енергетске санације постојећих конструкција од гитер (Стб<sub>100</sub>) и термо (Стб<sub>100</sub>) блокова

## 1. Увод

Грађевинска индустрија широм света је одговорна за значајну потрошњу енергије и ресурса. У склопу потребе за свеобухватним одрживим развојем, одржива архитектура представља концепт минимизирања негативних еколошких и друштвених утицаја изградње на развој животне средине. Стога одржива архитектура превасходно циља да смањи потрошњу енергије и ресурса током животног века грађевинског објекта. Укупна енергија потрошена током животног века грађевинског објекта се састоји од уграђене и оперативне енергије. Уграђена енергија представља енергију везану у грађевинским материјалима, док оперативна енергија представља енергију која је потрошена током коришћења објекта. Сматра се да оперативна енергија чини 80-90%, а уграђена енергија 10-20% укупне енергије потрошене током животног века објекта (Berge 2009). Међутим смањивањем потрошње оперативне енергије, уграђена енергија постаје све значајнији фактор у животном веку објекта. Стога, док је удео уграђене енергије у конвенционалним објектима 6-20%, у објектима ниске енергије (*low energy*) је 26-57% и може бити чак 74-100% у објектима близу нулте енергије (*NZEB*)(Chastas et al. 2017). Производња, примена и коначно одлагање грађевинских материјала захтева уносе сировина и енергије, испушта штетне материје у животну средину и има негативан утицај на широк спектар еколошких показатеља, као што су климатске промене, еутрофикација, трошење стратосферског озона и трошење абиотских и фосилних ресурса. У контексту потребе за смањивањем емисије гасова стаклене баште и примене необновљивих сировина, грађевински материјали на биолошкој бази постају све значајнији.

Бетон од конопље и креча је композитни термоизолациони грађевински материјал који се производи комбиновањем дрвенасте стабљике (поздер) индустријске конопље (*Cananbis Sativa L*) са везивом на бази креча и водом. Са аспекта уграђених еколошких утицаја биолошки, грађевински материјали на бази пољопривредних сировина могу имати значајне предности пошто представљају обновљив, и биоразградив ресурс који током узгоја фотосинтезом везује угљен диоксид ( $\text{CO}_2$ ) из атмосфере. Постојећа истраживања указују да у одређеним сценаријима производња и примена бетона од конопље и креча може да веже више угљен диоксида него што испусти (Boutin et al. 2006, Ip & Miller 2012, Pretot et al. 2014, Arrigioni et al. 2017 и др.) У првој половини XX века Југославија, са већинском производњом у Србији, је била један од највећих произвођача индустријске конопље у Европи, али од друге половине XX века, производња значајно пада и произвођачки погони се гасе. Бетон од конопље и креча је посебно интересантан материјал у контексту Србије пошто је пољопривреда и даље значајна привредна делатност у руралним подручјима и пошто након значајног пада производње, интересовање за узгој индустријске конопље прати глобалне трендове и значајно расте. С обзиром да се бетон од конопље и креча у свету сматра еколошки исправним грађевинским

материјалом, а да постоји високи потенцијал за његову производњу и примену у Србији, овај композитни материјал је изабран за фокус рада. Развој и примена биолошких материјала чије сировине су нуспродукт пољопривредне производње може бити значајан за даље стратегије одрживог развоја у Србији.

### **1.1 Проблем и предмет истраживања**

Основни проблем у фокусу овог истраживања је разумевање животног циклуса бетона од конопље и креча и утврђивање јединичних процеса у склопу животног циклуса који утичу на еколошку исправност материјала. Проблем истраживања ће се испитати проценом животног циклуса фасадних зидова од бетона од конопље и креча у сценаријима новоградње, енергетске санације и реконструкције традиционалних зидова од чатме. Процена животног циклуса представља „процену улазних и излазних података и могућих еколошких утицаја једног производног система током животног циклуса“ (ISO 2006а) и омогућава квантификовање еколошког утицаја грађевинског материјала, кроз различите еколошке показатеље. Оквир за методологију процене животног циклуса представљају међународни стандарди (*ISO 14040* и *ISO 14044*). Еколошки утицаји животног циклуса зидова од бетона од конопље и креча ће се поредити како међусобно тако и са примерима типичне праксе у новоградњи и енергетској санацији у Србији. Еколошки утицај варијација које могу настати приликом животног века бетона од конопље и креча се могу анализирати применом анализа осетљивости. Анализе осетљивости указују у којој мери варијација специфичног уноса у математички модел, утиче на коначан резултат.

Објекти породичног становања су бројчано најзаступљенији тип стамбених објеката у Србији (Јовановић Поповић и др. 2013). Највећи део стамбеног фонда је изграђен у XX веку после Другог Светског рата, када је поимање еколошке одрживости и енергетске ефикасности изградње било на релативно ниском нивоу. Тешка економска ситуација у земљи од краја XX века је значајно отежала енергетску санацију постојећих објеката и успорило увођење принципа одрживе архитектуре. Као земља кандидат за чланство Европске Уније, Србија се обавезала на хармонизацију својих прописа са европским што подразумева имплементацију Директиве о енергетским својствима зграда [*Energy Performance of Buildings Directives*] која је регулисана „Законом о планирању и изградњи“ (Министарство грађевинарства, саобраћаја и инфраструктуре, МГСИ 2009), и из њега произашлих правилника, пре свега „Правилника о енергетској ефикасности зграда“. Правилник се превасходно фокусира на уштеду оперативне енергије, а уграђени еколошки утицаји грађевинских материјала нису узети у обзир као мера за поправљање еколошке одрживости грађевинских објеката у Србији. У пракси се објекти сертификају издавањем енергетског пасоша, који објекте сврстава у енергетске

разреде према потрошњи финалне енергије за грејање. Објекти се стога искључиво валоризују према потрошњи оперативне енергије. Уграђена енергија везана у грађевинским материјалима и еколошки утицаји који настају као резултат животног циклуса грађевинских материјала се не валоризују, што оставља некомплетну слику о свеобухватној еколошкој одрживости објекта.

Грађевинска регулатива у Србији је превасходно усмерена на проблем енергетске ефикасности и смањивање оперативне енергије у новим и постојећим објектима, те грађевински контекст у Србији одликује:

- велики фонд постојећих објеката које је неопходно санирати или реконструисати пошто не задовољавају савремене потребе енергетске ефикасности;
- постојећа пракса у санацији и новоградњи која углавном недовољно разматра импликације потрошње материјалних ресурса и уграђене еколошке утицаје грађевинских материјала.

Апликација грађевинских материјала са ниском уграђеном енергијом може имати позитиван еколошки утицај на грађевински фонд и грађевинску праксу у Србији. Међутим тешка економска ситуација и недостатак свести о еколошкој одрживости ограничава тржиште и отежава уплив иновативних грађевинских материјала, уколико не могу да се такмиче са ценом већ устаљених грађевинских материјала. Стога шири уплив грађевинских материјала на биолошкој основи можда превасходно зависити од субвенционисња њихове примене. Међутим како еколошки одржива изградња постаје све присутнија, појављује се феномен некритичке примене „зелених технологија“ (*greenwashing*<sup>1</sup>). Стога је значајно детаљно анализирати и валоризовати еколошке карактеристике грађевинских материјала у контексту у коме ће се производити и примењивати.

Уз еколошки повољне карактеристике приказане у постојећој научној литератури и постојећи потенцијал за производњу материјала у Србији, кључан разлог за избор бетона од конопље и креча у спроведеном истраживању је његова широка намена. Бетон од конопље и креча није носећи материјал и примењује се као термоизолациона облога или испуна око конструктивног система. Уз примену у новоградњи, бетон од конопље и креча може да се користи у енергетској санацији постојећих објеката и рестаурацији историјских објеката. Најчешће се примењује *in situ*, ручном испуном у оплату око дрвене конструкције или прскањем под притиском у полу-затворену дрвену

---

<sup>1</sup> Термин *greenwashing* описује нетачно или непримерено рекламирање еколошке одрживости компанија, производа и услуга. У контексту архитектуре термин описује површну или неадекватну примену „зелених“ или привидно „зелених“ технологија како би објекат деловао еколошки исправнији него што заправо јесте.

конструкцију, али може да се префабрикује и примењује у форми блокова. У новоградњи бетон од конопље и креча се превасходно користи за изградњу зидова, подова и изолацију плафона и кровова у изради породичних кућа и других објеката ниже спратности. Бетон од конопље и креча стога може имати ширу примену од алтернативних материјала на биолошкој основи попут бала сламе, или композитних материјала по типу лаких бетона као што су дурисол, таролит, хераклит и сл. У случају бала сламе, оне се, за разлику од бетона од конопље и креча, примењују само у форми блокова. Такође, примена алкалног композитног везива на бази креча, пружа зидовима од бетона од конопље и креча већу отпорност на штеточине и бољи проток влаге у поређењу са балама сламе. Са друге стране, у случају наведених лакоагрегатних бетона, иако исти по свом концепту (лаки агрегат органског порекла и везиво), ови композитни материјали имају дрвена влакна или дрвену вуну као агрегат, а портланд цемент или Сорелов цемент као везиво, а могу се примењивати у форми префабрикованих плоча или блокова, али не и на лицу места. Пошто индивидуалне породичне куће чине највећи део стамбеног фонда у Србији, бетон од конопље и креча се може сматрати вишестраним и прилагодљивим материјалом који може наћи широку примену у домаћој грађевинској пракси.

Еколошка исправност грађевинског материјала зависи од утицаја који материјал, током свог животног века, има на широки спектар еколошких параметера. Предмет истраживања је валоризовање еколошке исправности примене бетона од конопље и креча у Србији, сагледавањем еколошких импликација варијација које могу настати приликом његове примене и директним поређењем са типичном грађевинском праксом у новоградњи и енергетској санацији у Србији. Варијације у животном веку бетона од конопље и креча могу настати услед варијабилних приноса или физичких својстава поздера, варијација у степену карбонатизације везива, варијација у раздаљинама превоза сировина, и услед различитих приступа израде и обраде зида. Разумевањем еколошких импликација ових варијација стиче се увид у предности и недостатке специфичних начина примене бетона од конопље и креча и ствара основа за еколошки исправну примену овог материјала у контексту Србије. Кључно за свеобухватну валоризацију еколошке исправности различитих производа је прихватање концепта размишљања на нивоу животног века (*Life Cycle Thinking*). Концепт животног века подразумева разматрање еколошких, друштвених и економских утицаја производа током животног века, а не само током процеса производње (UNEP Life Cycle Initiative n.d.). Укупни еколошки утицаји грађевинских материјала се могу сагледати кроз четири основне фазе животног века: производња, примена, коришћење и одлагање.

## 1.2 Циљеви научног истраживања

**Основни циљ** истраживања је да се применом методологије за процену животног циклуса, дефинисаном међународним стандардима *ISO 14040* (ISO 2006a) и *ISO 14044* (ISO 2006b), кроз широк спектар еколошких показатеља анализира и валоризује еколошка исправност производње и примене одабраних конструктивних склопова од бетона од конопље и креча у контексту Србије. Истраживање еколошке исправности се спроводи кроз анализе осетљивости помоћу којих се утврђује еколошки утицај варијација које могу настати приликом примене бетона од конопље и креча услед варијација у: физичким својствима и приносу поздера, амбијенталним условима који утичу на степен карбонатизације везива, раздаљинама превоза сировина, саставу везива и методи израде зида. Стога основни циљ подразумева и развој поступка за процену животног циклуса овог грађевинског материјала у Србији, што укључује одабир методолошког оквира, адекватних еколошких показатеља који ће се анализирати, прикупљање података и валоризацију резултата.

**Секундарни циљ** истраживања је да се упореде еколошки утицаји примене бетона од конопље и креча са типичном грађевинском праксом у Србији у изградњи нових и енергетској санацији постојећих објеката како би се истражиле предности овог материјала.

**Терцијарни циљ** истраживања је да се подигне свест о примени грађевинских материјала на биолошкој основи у Србији и промовише даљи узгој индустријске конопље.

**Свеобухватни циљ** научног истраживања је да се у контексту Србије валоризују и дефинишу оптимални начини примене бетона од конопље и креча у новоградњи и реконструкцији постојећих објеката, на основу чега би се дефинисале опште смернице за примену овог материјала у градитељској пракси.

## 1.3 Задаци научног истраживања

Из дефинисаних научних циљева проистичу следећи задаци истраживања:

- Анализа научне литературе која проучава физичка својства бетона од конопље и креча као и анализа комерцијалне и практичне литературе о примени материјала како би се систематизовали и образложили сви могући начини примене у пракси;
- Прикупљање података о доступности неопходних сировина за формирање бетона од конопље и креча у Србији, како би се дефинисале мешавине прикладне за примену у Србији;
- Анализа постојећег грађевинског фонда у Србији како би се дефинисале могућности прикладне примене бетона од конопље и креча при реконструкцији и дефинисали релевантни типски примери конструктивних склопова који се могу користити за директно поређење са склоповима од бетона од конопље и креча у новоградњи;

- Анализа релевантне законске регулативе која може утицати на начине и обим примене бетона од конопље и креча у Србији;
- Анализа међународних стандарда за израду процене животног циклуса и досадашњих истраживања животног циклуса бетона од конопље и креча, како би се у овом истраживању развила методологија за процену животног циклуса;
- Дефинисање циља и обима процене животног циклуса, што превасходно укључује дефинисање функционалних јединица конструктивних склопова од бетона од конопље и креча и типских конструктивних склопова који се разматрају како за новоградњу тако и за реконструкцију. Циљ и обим укључују и дефинисање анализа осетљивости које ће се испитивати кроз варијације функционалних јединица;
- Формирање математичког модела као алата за процену животног циклуса;
- Дефинисање јединичних процеса који чине животни циклус одабраних функционалних јединица;
- Одабир података из међународних база података за процену животног циклуса за све дефинисане јединичне процесе;
- Израда процене животног циклуса на основу унетих података у математички модел за све индивидуалне функционалне јединице;
- Анализа резултата процене животног циклуса, поређење и валоризација еколошке исправности анализираних функционалних јединица.

#### **1.4 Полазне хипотезе научног истраживања**

**Основна хипотеза** научног истраживања је:

Физичка својства, квантитативни подаци добијени методом процене животног циклуса и директно квантитативно поређење са типичним склоповима у постојећој градитељској пракси указују да је бетон од конопље и креча еколошки исправан материјал за примену у Србији, како у новоградњи, тако и приликом санације постојећих објеката.

**Секундарна хипотеза** истраживања гласи:

На основу квантитативних разлика, у еколошким показатељима за климатске промене, ацидификацију, еутрофикацију, трошење стратосферског озона, стварање фотохемијског озона и трошење абиотских и фосилних ресурса, које настају услед варијација током животног века бетона од конопље и креча, могуће је дефинисати еколошки исправне моделе примене бетона од конопље и креча у датом контексту.



## 1.5 Научне методе истраживања

У раду су примењене следеће научне методе истраживања:

- Прикупљање, анализа и систематизација научне и техничке литературе која се тиче физичких својстава, животног циклуса и начина примене бетона од конопље и креча, производње релевантних грађевинских сировина у Србији, одлика стамбене архитектуре у Србији, грађевинске регулативе у Србији и Европској Унији у погледу грађевинских материјала и енергетске ефикасности и међународних методологија за процену животног циклуса материјала;
- Прикупљање података везано за узгој индустријске конопље у Србији путем разговора са стручњацима за узгој индустријске конопље;
- Критичка анализа и синтеза прикупљених података и креирање модела за примену бетона од конопље и креча у Србији;
- Компаративна анализа методологија и резултата истраживања процене животног циклуса бетона од конопље и креча.
- Дефинисање поступка израде процене животног циклуса на основу међународних стандарда *ISO 14040* (ISO 2006a) и *ISO 14044* (ISO 2006b).
- Синтеза сазнања ради формирања функционалних јединица за процене животног циклуса;
- Систематизација података процене животног циклуса из *Ecoinvent* базе података и еколошких декларација, нумеричко моделирање у софтверском моделу и графичка репрезентација добијених резултата;
- Критичка и компаративна анализа квантитативних резултата процене животног циклуса;
- Квалитативна анализа података како би се формирале смернице за примену бетона од конопље и креча у Србији.

## 1.6 Научна оправданост, очекивани резултати и практична примена истраживања

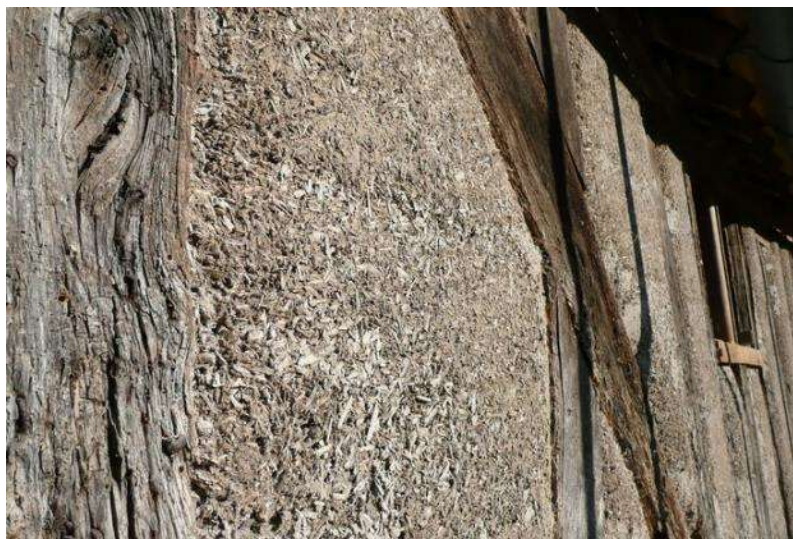
Бетон од конопље и креча представља нов грађевински материјал до сада слабо истраживан у контексту Србије. Разумевање животног циклуса, еколошких карактеристика и еколошких импликација различитих примена бетона од конопље и креча је кључно за успешну и еколошки одрживу примену материјала у Србији. Као грађевински материјал на биолошкој основи, бетон од конопље и креча се и без дубље анализе може сматрати еколошки прихватљивим грађевинским материјалом. Међутим како би се избегао феномен некритичке примене „зелених технологија“ (*greenwashing*), значајно је детаљно анализирати и валоризовати еколошке карактеристике бетона од конопље и креча у контексту у којем ће се примењивати. Постојеће процене животног циклуса бетона од конопље и креча углавном разматрају необрађен зид од бетона од конопље и креча без

завршних обрада, што није рефлексивна примена материјала у пракси. Стога, анализа еколошких утицаја различитих спољашњих и унутрашњих обрада има шири научни значај и импликације за примену материјала не само у Србији. Досадашња истраживања недовољно пореде бетон од конопље и креча са типичном грађевинском праксом у датом контексту. Овакво поређење у условима Србије би указало на еколошку одрживост примене материјала у новоградњи и енергетској санацији и указало на евентуалне слабости постојеће праксе. У Србији однос према ресурсима и концепт животног века још увек нису довољно заживели у грађевинској регулативи и пракси. Анализа животног века бетона од конопље и креча може допринети промоцији грађевинских материјала на биолошкој основи и покренути размишљање о другим еколошким одрживим грађевинским материјалима.

Очекује се да примарни резултат научног истраживања буде дефинисање смерница за практичну еколошку исправну примену бетона од конопље и креча у Србији. Биће познате еколошке карактеристике и импликације различитих метода примене бетона од конопље и креча, чиме се формирају смернице за примену материјала. Уз то биће идентификовани сви еколошки недостаци производње и примене бетона од конопље и креча у Србији. Тиме се ствара оквир за даљу еколошку и техничку оптимизацију материјала. Очекује се да истраживање може дефинисати универзалан поступак процене животног циклуса грађевинских материјала у Србији, где се применом анализа осетљивости и поређењем са постојећом праксом формира детаљан теоретски оквир еколошких импликација примене неког грађевинског материјала у датом контексту.

## 2. Сазнања о бетону од конопље и креча

Бетон од конопље и креча је настао у Француској средином 1980-их као материјал за обнову историјских објеката и замена за ороную испуну бондручних конструкција (Stanwix & Sparrow 2014). Настао је услед потребе за паропропусним материјалом за испуну и поправку зидова пре свега у рестаурацији историјских објеката (Слика 2.1). После Другог светског рата портланд цемент је коришћен у рестаурацији средњовековних објеката, што је проузроковало значајне проблеме са влагом и пореметило термичка и структурна својства зидова. Први пут је примењен 1986. године у рестаурацији објекта из XVI века у месту Ножен сур Сен (Слика 2.2) (Hirst 2013). Као својеврсни “биолошки бетон” и еколошки занимљив материјал убрзо проналази примену и у новоградњи. Током 90-их година XX века изграђено је на стотине нових објеката у Француској и развијена је индустрија базирана на овом материјалу.



Слика 2.1: Необрађен бетон од конопље и креча у бондрук конструкцији (Stanwix 2012)



Слика 2.2: Кућа у Ножен сур Сен (Coulouris 2006)

У Великој Британији први пут је примењен 2000. године у склопу Хаверхил стамбеног комплекса, где су забележена позитивна хигротермална својства. Установљено је да су објекти грађени бетоном од конопље и креча у односу на типичне објекте масивне градње са зидовима од опеке и изолацијом од камене вуне, били у просеку 1-2°C топлији уз исту потрошњу енергије. Укупна потрошња енергије је била приближна иако је на основу иницијалних прорачуна предвиђено, да ће потрошња енергије за грејање бити значајно већа у кућама од бетона од конопље и креча (Yates 2002). До данас је највише објеката од овог материјала изграђено у Француској и Великој Британији, али се примена материјала проширила широм Европе и света. Научна истраживања о бетону од конопље и креча се интензивирају у XXI веку. Истраживања преваходно испитују физичка својства материјала и ефекте спољашњег амбијента и варирања састава материјала на физичка својства. Истражена су

основна хидрофизичка<sup>2</sup> термичка<sup>3</sup> и механичка<sup>4</sup> својства материјала. Фокус је поготово стављен на хигротермална понашање материјала<sup>5</sup>. Структура материјала и механизми повезивања поздера и малтера су такође истражени<sup>6</sup>. Свеукупна еколошка исправност материјала је превасходно испитана кроз процене животног циклуса<sup>7</sup>. Композитна природа материјала, могућност варирања састава и обраде материјала, могућности примене материјала у новим контекстима и недовољно поређење са конвенционалним материјалима оставља доста простора за даља научна истраживања.

Сам материјал има више назива у литератури. У комерцијалној и општој литератури је најпознатији под називом *Hempcrete*, али се овај назив користи и у појединим научним истраживањима (Arehart Srubar & Nelson III 2020, Arrigioni et al. 2017, Dhakal et al. 2019, Piot et al. 2014). У Србији овај назив је преузет као „Конобетон“ (Gojkov 2022). На француском материјал се генерално зове „*beton de chanvre*” или бетон од конопље. Међутим у већини научне литературе се користе уопштени називи за материјал „*hemp-lime*“, „*hemp-lime concrete*” и „*hemp-lime composite*”, који се могу превести као „конопља-креч“, „бетон од конопље и креча“ и „композит од конопље и креча“, који описују његов пун састав (Benfratello et al. 2013, Florentin et al. 2017, Strandberg de Bruijn et al. 2009, Moujalled et al. 2018, Rahim et al. 2015, Walker, Pavia & Mitchell 2014 и многа друга). Како је овај материјал још увек релативно нов у контексту Србије, у спроведном истраживања ће се користити искључиво термин „бетон од конопље и креча“, пошто је чест у научној литератури и указује на састав материјала.

За контекстуализацију примене бетона од конопље и креча у Србији неопходно је стећи свеобухватно разумевање природе и својстава овог релативно новог грађевинског материјала па се

---

<sup>2</sup> Значајна истраживања која испитују хидрофизичка својства бетона од конопље и креча су: (Cerezo 2005, Evrard 2008, Collet et al. 2013, Oumeziane et al. 2014, Strandberg-de Bruijn & Johansson 2013, Strandberg-de Bruijn & Johansson 2014, Latif et al. 2014, Latif et al. 2015, Oumeziane et al. 2016, Rahim et al. 2016 и др.)

<sup>3</sup> Значајна истраживања која испитују термичка својства бетона од конопље и креча су: (Strandberg-de Bruijn & Johansson 2013, Benfratello et al. 2014, Collet & Pretot 2014b, Kinnane et al. 2014, Pierre, Colinart & Gloucannec 2014, Gourlay et al. 2017, Williams, Lawrence & Walker 2018 и др.)

<sup>4</sup> Значајна истраживања која испитују механичка својства бетона од конопље и креча су: (Arnaud & Gourlay 2012, Hirst 2013, Walker, Pavia & Mitchell 2014, Chabanes et al. 2015, Chabannes et al. 2016, Niyigena, Amziane & Chateauneuf 2018, Williams, Lawrence & Walker 2018 и др.)

<sup>5</sup> Значајна истраживања која испитују хигротермално понашање бетона од конопље и креча су: (Evrard 2008, Evrard & de Herde 2010, Tran Le et al. 2010, Collet & Pretot 2012, Shea, Lawrence & Walker 2012, Collet & Pretot 2014a, Maalouf et al. 2014, Colinart, Lelievre & Gloucannec 2016, Dhakal et al. 2017, Moujalled et al. 2018 и др.)

<sup>6</sup> Значајна истраживања која истражују структуру и повезивање бетона од конопље и креча су: (Arizzi et al. 2015, Diquelou et al. 2015, Diquelou et al. 2016, Marceau et al. 2018 и др.)

<sup>7</sup> Кључна научна истраживања која врше процену животног циклуса бетона од конопље и креча су: (Boutin et al. 2013, Ip & Miller 2012, Pretot, Collet & Garnier 2014, Arrigioni et al. 2017, Lecompte, Levasseur & Maxime 2017, Sinka et al. 2018 и Arehart, Srubar & Nelson III 2020)

у наставку резимирају досадашња сазнања о бетону од конопље и креча која се тичу сировина за његово формирање, физичких својстава материјала и начина примене.

## 2.1 Сировине за формирање бетона од конопље и креча

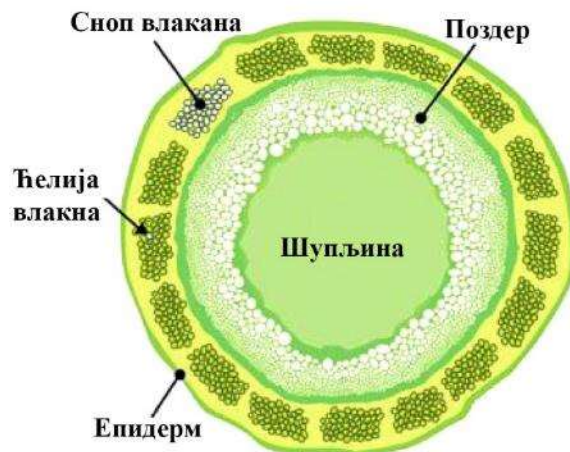
Бетон од конопље и креча се формира мешањем поздера индустријске конопље са везивом на бази креча и водом. Услед композитне природе могуће је варирати састав бетона од конопље и креча, али примена адекватног поздера и везива је кључна за успешну примену материјала. Стога је неопходно сагледати структуру и састав основних сировина које чине бетон од конопље и креча.

### 2.1.1 Структура и својства поздера индустријске конопље

Индустријска конопља (Слика 2.3) је једногодишња биљка која се гаји више хиљада година преваходно због влакана из коре стабљике. Сматра се да је биљка потекла из средње Азије и да се култивише од неолитског доба. У Европи има значајну примену од античке Грчке. Индустријска конопља је усева са високим приносима и ниским уносима (Latif et al. 2014). Пошто има кратак развојни циклус, од 4 до 5 месеци, може се гајити у ротацији са другим културама. Веома је отпорна, гаји се без примене хербицида и пестицида уз релативно ниску количину ђубрења и наводњавања. Додатне предности су адаптираност на широк спектар климатских прилика и поправљање квалитета земљишта уносом органских материја и ерадикацијом коровских биљака (Bevan & Woolley 2008). У свом кратком развојном циклусу биљка индустријска конопља нарасте до 4 метра. Има танко стабло које се грана зракастим листовима. Стабло се састоји од шупљег дрвенастог поздера и спољашње коре која садржи влакна у васкуларним сноповима (Слика 2.4).



Слика 2.3: Биљка индустријске конопље (Roos 2018)



Слика 2.4: Структура стабла индустријске конопље (Ingrao et al 2015)

Влакна индустријске конопље имају широку примену и користе се за производњу техничког текстила, одеће, папира, термоизолације и различитих биокompозита ојачаних влакнима. Унутрашња дрвенаста стабљика индустријске конопље (поздер) је лигноцелулозни агрегат кога углавном сачињавају уздужне мртве ћелије ксилема<sup>8</sup> заслужне за порозну микроструктуру (Magniont & Escadilles 2017). Поздер садржи 34.5-48% целулозе, 12-25% хемицелулозе, 20-28% лигнина уз пектин, уља и протеине (Magniont & Escadilles 2017) и може се сматрати типом дрвета са структуром сличном бреси и врби (Evrard 2008). Поздер карактерише висока порозност, која може бити и преко 90% (Picandet 2017) и указује на удео празних простора у његовој укупној запремини (Lawrence & Jiang 2017). Поздер има високу растреситост и лако се сабија и згушњава (Hirst 2013). Ниска густина и порозност чини поздер прикладним за формирање лаганих агрегата који дају нижу топлотну проводљивост композитним материјалима (Lawrence & Jiang 2017). Висока порозност чини поздер веома хигроскопним, што омогућава формирање паропропусних биокompозита.

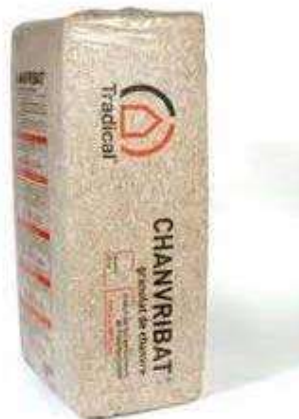
Поздер (Слика 2.5) чини око 50-60% укупне масе сламе од индустријске конопље и нуспродукт је процеса одвајања влакна из сламе. Пре примене у бетону од конопље и креча, поздер није имао широку примену и превасходно се користио као простирка у коњушницама и малч у вртовима или се сматрао отпадом. Стога је евидентно да бетон од конопље и креча користи обновљиву биолошку сировину, која је претходно имала врло малу вредност и ограничену примену. У бетону од конопље и креча се примењују суви парчићи поздера са минималном количином преосталог влакна и прашине величине 10-25mm (Stanwix & Sparrow 2014). Величина поздера може да утиче на физичка својства бетона од конопље и креча. Арно и Гурле (Arnaud & Gourlay 2012) утврђују да примена краћег и финијег поздера ствара гушће узорке са већом притисном чврстоћом и нижом порозношћу. Брзиски и др. (Brzyski et al. 2019) такође утврђују да примена финијег поздера формира узорке са нижим порозитетом, што негативно утиче на топлотну проводљивост, паропропусност и хигроскопност материјала. Стога примена финијег и краћег поздера нема предности пошто негативно утиче на хигротермално понашање материјала, а побољшана механичка снага није довољна да се оствари структурна носивост. За примену комерцијалног везива попут *Tradical PF70* подстиче се само примена комплементарног поздера (*Chanvribat*) (Слика 6) како би се обезбедио уједначен квалитет бетона од конопље и креча. Квалитет, чистоћа и униформност поздера су кључан фактор за успешну примену бетона од конопље и креча. У Француској поздер прикладан за примену у бетону од конопље и креча се сертификира етикетом “*Granulat chanvre bâtiment*” (Construire en Chanvre 2017).

---

<sup>8</sup> Ксилем је врста ткива у васкуларним биљкама које преноси воду и неке хранљиве материје од корена до остатка биљке.



Слика 2.5: Расути смрвљени поздер индустријске конопље (Glé, Gourdon & Arnaud 2011)



Слика 2.6: *Chanvribat* упаковани поздер за примену у бетону од конопље од креча (Tradical 2016a)

### 2.1.2 Структура и својства везива

Улога везива у материјалу је да обезбеди брзо иницијално очвршћавање, исушивање поздера, самоносивост приликом сушења и комплетно очвршћавање током времена (Stanwix & Sparrow 2014). Особине везива имају велики утицај на својства бетона од конопље и креча. Повећање количине везива у мешавини повећава густину узорка и приближава механичка својства материјала механичким својствима везива (Arnaud & Gourlay 2012). У пракси се генерално примењују комерцијална композитна везива, чији су пуни састави пословна тајна. Традикал ПФ70 (*Tradical PF70*) је најраспрострањеније комерцијално везиво које се користи за справљање овог материјала чији су основни састојци хидратисани креч (75%), хидраулични креч (15%) и недеklarисани пуцолани (10%). Комерцијална везива су резултат вишегодишњег тестирања и ефикасно постижу конзистентност у градњи бетоном од конопље и креча. Међутим, тајност њиховог састава, као и потенцијал за генерална еколошка, механичка и термичка побољшања композитних везива за бетон од конопље и креча, представљају добар разлог за даљи развој оригиналних везива. У експерименталним и теоретским истраживањима се често примењују генерична оригинална везива која се могу лако репликовати. Табела 2.1 приказује саставе композитних везива примењених у експерименталним истраживањима и проценама животног циклуса (*LCA*).

Табела 2.1: Састави композитних везива бетона од конопље и креча у научној литератури

Истраживање	Везиво и тип истраживања	Однос према тежини (%)				
		Хидратисани креч	Природни хидраулични креч	Портланд цемент	Пуцолани	Друго
Cerezo 2005, Evrard 2008, Evrard & de Herde 2010, Shea, Walker & Williams 2012, Colinart et al. 2013, Collet et al. 2013, Rahim et al. 2015, Rahim et al. 2016, Williams, Walker & Lawrence 2018 и др.	<i>Tradical PF70</i> (експеримент)	75	15	/	10	/
Boutin et al. 2006, Ip & Miller 2012, Pretot, Collet & Garnier 2014, Lecompte, Maxime & Levasseur 2017	<i>Tradical PF70</i> (процена животног циклуса (LCA))	75	15	/	10	/
Strandberg - de Bruijn et al. 2009	Оригинално везиво (експеримент)	29	44	27	/	/
		20	30	50	/	/
Nozahic 2013	Оригинално везиво (експеримент)	20	/	/	80 Песак од пловућа	/
Strandberg - de Bruijn & Johansson 2013, Strandberg - de Bruijn & Johansson 2014	Оригинално везиво (експеримент)	75	15	/	10 Електрофилтерски пепео	/
Collet & Pretot 2014b, Oumeziane et al. 2016	Оригинално везиво (експеримент)	/	27.5	/	/	72.5 негашени креч (CaO)
Walker, Pavia & Mitchell 2014	Оригинално везиво (експеримент)	70	20	10	/	/
		70	/	/	30 Млевениа гранулисана шљака	Метил целулоза
		80	/	/	20 Метакаолин	Метил целулоза
Dinh et al. 2015, Seng, Magniont & Lorente 2019	Оригинално везиво (експеримент)	30	/	/	70 Метакаолин	/



Chabannes et al. 2015, Chabannes et al. 2016	Оригинално везиво (експеримент)	50	50 NHL3.5	/	/	/	
Diquelou et al. 2016	Оригинално везиво (експеримент)	40	/	43	/	Смрвљени CaCO <sub>3</sub>	
Arrigioni et al. 2017	Оригинално везиво (експеримент, LCA)	/	/	20	/	80 Доломитски креч	
	Комерцијално везиво (LCA)	75	15	10	/	/	
Dhakal 2017	<i>Batichanvre</i>	60-70	?	?	?	?	
Lecompte, Maxime & Levasseur 2017	Комерцијално везиво (LCA)	/	70	25	/	5 Адитиви	
Gourlay 2017, Marceau et al. 2017, Piot et al. 2017	<i>Prompt natural cement</i> (експеримент)	/	/	/	/	100 Природни цемент	
Sinka et al. 2018	Комерцијално везиво (експеримент, LCA)	70	20	/	10	/	
	Оригинално везиво (експеримент, LCA)	60	/	/	40	Метакаолин	
		/	/	/	/	100	Магнезијум фосфатни цемент
		/	/	/	/	100	Магнезијум оксихлоридни цемент
Arehart, Nelson & Srubar III 2020	Оригинално везиво (LCA)	50 - 80	20 - 50	/	/	/	
		50 - 80	/	20 - 50	/	/	
		50 - 80	/	/	20 - 50	/	

Евидентно је да већина анализираних композитних везива садржи хидратисани креч, хидраулични креч и као трећу компоненту пуцолане или портланд цемент. Стога је неопходно сагледати физичка својства ових сировина и механизме повезивања поздера и коришћеног везива.

### 2.1.2.1 Грађевински креч

Креч је супстанца која може да се користи као везиво у грађевинским материјалима. Добија се печењем кречњака који се превасходно састоји од калцита (CaCO<sub>3</sub>). Термичким разлагањем или калцинацијом кречњака формира се печени или живи креч (калцијум оксид, CaO) и ослобађа угљен диоксид (CO<sub>2</sub>).



Живи креч се потом „гаси“ контролисаном количином воде. Калцијум оксид се везује за воду и формира се минерал портландит (калцијум хидроксид  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ).

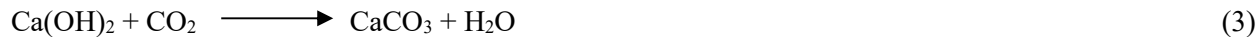


Хемијски састав кречњака који се користи за добијање креча утиче на својства грађевинског креча. Према међународном стандарду *EN 459-1* (European Committee for Standardization, CEN 2015) постоје два основна типа грађевинског креча: ваздушни креч (*air lime*) и хидраулични креч или креч са хидрауличним својствима (*limes with hydraulic properties*), који се разликују како по хемијском саставу тако и по механизмима учвршћивања.

**Ваздушни креч** се дели на калцијумски креч који превасходно садржи калцијум оксид или хидроксид и доломитски креч који превасходно садржи калцијум магнезијум оксид или хидроксид. На основу података из Табеле 1, евидентно је да је хидратисани креч основни састојак највећег броја комерцијалних и оригиналних везива. Хидратисани креч је тип калцијумског креча који се добија печењем кречњака са високим садржајем калцита ( $\text{CaCO}_3$ ) и ниским садржајем глине. Према Келенбергер и др. (Kellenberger et al. 2007) типичан пример кречњака који се користи за производњу хидратисаног креча садржи 94.5% калцита. Калцинација кречњака се генерално одвија на  $900^\circ\text{C}$  (Oates 1998), али се кречњак може пећи и на температурама до  $1200^\circ\text{C}$  (Kellenberger et al. 2007). Живи креч се гаси са контролисаном количином воде која омогућава формирање сувог хидрата или праха. Примена додатне количине воде омогућава формирање пасте или кречног теста (Bruse & Weismann 2015). Према стандарду *EN 459-1* форма хидратисаног креча се означава дознакама *S* за прах, *S PL* за тесто и *M PL* за кречно млеко. Основна ознака *CL 90*, *CL80* и *CL70* се дефинише према укупној маси калцијум и магнезијум оксида у кречу. У бетону од конопље и креча се типично користи хидратисани креч са ознаком *CL90S*, што указује да је у прашкастој форми и садржи бар 90%  $\text{CaO} + \text{MgO}$ . У хидратисаном кречу калцијум оксид је готово у потпуности везан у портландиту и типичан *CL90s* хидратисани креч садржи преко 90% портландита.

Хидратисани креч очвршћује у присуству влаге и угљен диоксида у ваздуху процесом карбонатизације. Карбонатизација се одвија преко отворених пора у материјалу. Угљен диоксид се дифундује кроз отворене поре у материјалу и раствара у води унутар пора, при чему се формира

угљена киселина ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ). Портландит се такође раствара у води унутар пора, што омогућава повезивање јона калцијума ( $\text{Ca}^{2+}$ ) и карбоната ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) Крајњи резултат је формирање кристала калцита који својом микроструктуром омогућавају учвршћавање и повезивање елемената у смеси.



Карбонатизација је спор процес који може да траје годинама, како угљен диоксид продире дубље у структуру материјала. Степен карбонатизације превасходно зависи од амбијенталних услова. Ниска релативна влажност ваздуха исушује поре, док висока релативна влажност чини поре презасићеним. Пожељна је релативна влажност између 40 и 80%, пошто испод 20% релативне влажности нема довољно воде у порама да се угљен диоксид и портландит растворе, док је при релативној влажности изнад 90% доступно мање од пола површине пора за карбонатизацију (Lawrence 2006). Оптимална температура за карбонатизацију је око  $20^\circ\text{C}$ , пошто врло ниске температуре инхибирају испаравање воде а високе температуре отежавају растварање угљен диоксида и портландита (Balen & Van Gemert 1994). Структура материјала такође утиче на степен карбонатизације, пошто угљен диоксид лакше дифундује кроз материјале са већом порозношћу. Лоренц (Lawrence 2006) указује да карбонатизација временом мења микроструктуру материјала, чиме побољшава механичка својства и утиче на порозност и пренос воде у материјалу. Пошто се хидратисани креч учвршћује путем карбонатизације, спорије стиче механичку чврстоћу и није прикладан за самосталну примену у материјалима где је неопходна већа механичка снага и брзо учвршћивање

**Природни хидраулични креч (NHL)** је тип креча који превасходно очвршћује процесом хидратације у контакту са водом, али и карбонатизацијом у контакту са угљен диоксидом. Добија се печењем кречњака, који садржи значајнији удео глиненних минерала, на температурама између  $950^\circ\text{C}$  и  $1050^\circ\text{C}$  (Figuereido, Ball & Lawrence 2016). Кречњак који се користи за формирање хидрауличног креча генерално садржи 65-75% калцита, 15-25% силике ( $\text{SiO}_2$ ), 3-8.5% алумине ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) и 0-4% хематита ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) (Kellenberger et al. 2007). Већи удео минерала силике и алумине обезбеђује хидрауличном кречу хидрауличне елементе који подстичу учвршћивање у контакту са водом. Хидраулични креч се гаси мањим количинама воде како би се слободан калцијум оксид претворио у портландит, без превремене хидратације силиката и алумината (Oates 1997). Стога хидраулични креч долази само у прашкастој форми. Природни хидраулични креч се класификује у три категорије према снази хидрауличног учвршћивања или хидрауличности. Класификује се као *NHL2* (благо хидраулични креч), *NHL3.5* (умерено хидраулични креч) и *NHL5* (изражено хидраулични креч). Разлике настају услед варијација у количини минерала глине у кречњаку и

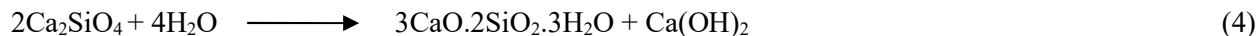
варијација у температури и дужини печења кречњака. Сматра се да већа количина силике и алумине и више температуре печења доприносе повећању хидрауличности (Bruce & Weismann 2015). Већа хидрауличност убрзава очвршћава и повећава притисну чврстоћу креча. Према стандарду *EN 459-1* (CEN 2015) природни хидраулични креч се не класификује према хемијском саставу већ према притисној чврстоћи након 28 дана. Класификација природног хидрауличног је приказана у Табели 2.2.

Табела 2.2: Класификација природног хидрауличног креча према *EN 459-1* (CEN 2015)

Тип природног хидрауличног креча	Притисна чврстоћа након 28 дана (МПа)	Количина слободног креча Ca(OH) <sub>2</sub> (%)
NHL 2	≥ 2 до ≤ 7	≥ 35
NHL 3.5	≥ 3.5 до ≤ 10	≥ 25
NHL 5	≥ 5 до ≤ 15	≥ 15

Стандард *EN 459-1* (CEN 2015) такође указује на садржај портландита као важног фактора за диференцијацију природног хидрауличног креча. Са све већим садржајем слободног портландита хидрауличност је нижа и карбонатизација игра све важнију улогу у учвршћивању креча. Хидраулични креч се превасходно састоји од калцијум оксида (55-65%) који је већином везан за хидраулични минерал белит (C<sub>2</sub>S)(дикалцијум силикат Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>), слободни креч/портландит (Ca(OH)<sub>2</sub>) и непечени калцит (CaCO<sub>3</sub>). Хидраулични креч генерално садржи између 20-40% белита, 20-30% непеченог калцита, 15-30% портландита и мање од 5% осталих хидрауличних минералних фаза (C<sub>3</sub>S, C<sub>3</sub>A, C<sub>4</sub>AF и C<sub>2</sub>AS) (Escadeillas et al. 2013).

Иницијално учвршћивање хидрауличног креча се постиже хидратацијом. Процес хидратације представља хемијску реакцију безводних једињења са водом, којом се формира хидрат (Lawrence 2006). Хидратација у хидрауличном кречу се превасходно одвија реакцијом белита са водом, формирајући калцијум-силикат-хидрат (C-S-H, 3CaO.2SiO<sub>2</sub>.3H<sub>2</sub>O), и портландит. При растварању у води честице хидрауличног креча се разлажу на јоне калцијума и силике који након zasiћења раствора почињу да се таложе и повезују у аморфну микрокристалну структуру која извлачи воду и формира густу мрежу калцијум-силикон-хидрата и додатни портландит (Forster 2004).



Хидратација осталих хидрауличних минералних фаза нема значајан утицај на очвршћавање хидрауличног креча. Иницијално очвршћавање се постиже након неколико сати, док се коначно очвршћавање постиже након дужег времена кад све честице креча прођу реакцију или нестане слободне воде за хемијску реакцију (Forster 2004). Процес карбонатизације је значајно спорији, али се такође одвија током хидратације и дуго након завршетка хидратације. Карбонатизација портландита може да утиче на даљу трансформацију калцијум-силикат-хидрата. У портланд цементу када карбонатизација конвертује портландит и умањи  $pH$  и концентрацију јона калцијума у порама, калцијум-силикат-хидрат се трансформише у гел од силике и испусти јоне калцијума који омогућавају формирање и даљу карбонатизацију портландита (Lagerblad 2005). Део јона калцијума остане присутан у гелу силике, тако да комплетна карбонатизација  $CaO$  у хидрауличном кречу или портланд цементу није могућа. Пошто су кристали портландита већи од кристала калцијум-силикат-хидрата, а карбонатизација је спорији процес, структура пора која се формира применом хидратисаног креча је мање компликована и отворенија од структуре пора која се формира хидратацијом хидрауличног креча (Lawrence 2006). Хидратисани креч стога формира паропропусније малтере, али је хидраулични креч применљивији где је неопходно брже учвршћавање и већа притисна чврстоћа. Неопходно је додати хидраулични елемент у везиво за формирање бетона од конопље и креча како би се обезбедило брже учвршћавање материјала.

### 2.1.2.2 Пуцолани

Пуцолани су силикатне и алумино-силикатне супстанце које самостално не поседују хидрауличност или везивна својства, али у присуству воде реагују са раствореним калцијум хидроксидом и формирају хидраулична једињења која омогућавају њихову примену у везивима (Escadeilles et al. 2013). У грађевинарству се типично примењују у изради бетона, али су такође битан састојак многих везива за формирање бетона од конопље и креча. Пуцолани се могу наћи у изворној форми у природи (различите врсте вулканског камења), али се најчешће користе термички активирани пуцолани из седиментарних извора који су често нуспроизводи индустријских процеса (метакаолин, микросилика, електрофилтерски пепео, гранулисана шљака итд.). Сагледавајући саставе везива у Табели 1, уочава се да је метакаолин најчешће коришћен пуцолан у различитим везивима за формирање бетона од конопље и креча. Метакаолин се формира печењем каолинита или каолинске глине на температурама између  $650^{\circ}C$  и  $800^{\circ}C$  и превасходно се састоји од силике (50-70%) и алумине (20-40%) (Escadeilles et al. 2013). Калцинација каолинске глине у производњи метакаолина се врши на значајно нижим температурама од калцинације клинкера за портланд цемент и не испушта  $CO_2$  директно у атмосферу. Пуцоланска реакција између метакаолина и калцијум хидроксида формира калцијум силикат хидрат (C-S-H) гел као и калцијум алуминат силикат хидрат

(C-A-S-H) и калцијум алуминат хидрат (C-A-H). Додавање метакаолина повећава хидрауличност везива за формирање бетона од конопље и креча и доприноси бржем учвршћивању и развоју механичке снаге.

### 2.1.2.3 Портланд цемент

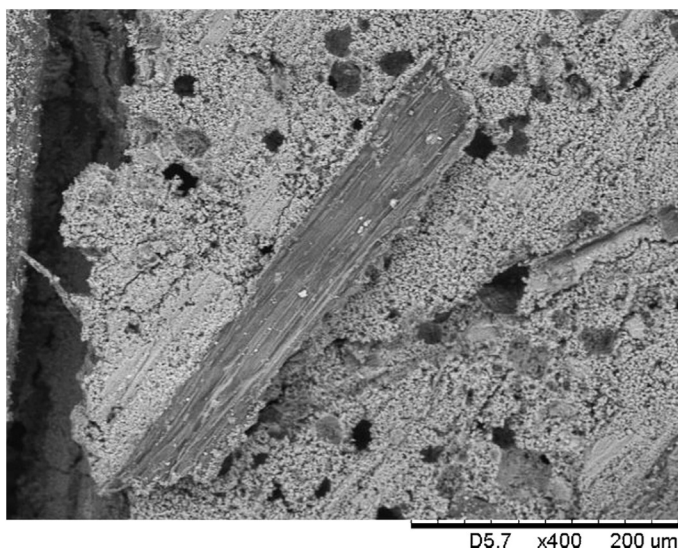
Портланд цемент је основно везиво за израду класичног бетона. Основна сировина за производњу портланд цемента је портланд цементни клинкер који се може дефинисати као хидраулични материјал који по маси садржи најмање две трећине калцијум силиката, и садржи минералне фазе алуминијума и гвожђа уз друга једињења (CEN 2011). Клинкер се прави печењем кречњака заједно са другим сировинама попут глине, лапорца, шкриљца и песка на температурама до 1450°C (Harrison 2019). Печени клинкер се потом хлади и меље у прах са додатком мање количине гипса и кречњака. Према стандарду *EN197-1* (CEN 2011) портланд цемент (*CEM I*) се састоји од 95-100% клинкера. Минералоски састав клинкера зависи од иницијалних сировина, али типично садржи 60-69% калцијум оксида, 18-24% силике, 4-8% алумине и 1-8% хематита (Escadeilles et al. 2013). Портланд цемент је хидраулично везиво и превасходно очвршћује хидратацијом. За разлику од природног хидрауличног креча, најприсутнија минерална фаза у клинкеру и портланд цементу је алит ( $C_3S$ ,  $3CaO \cdot SiO_2$ ), док је белит мање присутан. Алит реагује брже са водом од белита и заслужан је за иницијално очвршћавање и снагу портланд цемента. Белит је заслужан за каснији развој снаге у материјалу. Према стандарду *EN197-1* (CEN 2011) портланд цемент (*CEM I*), постиже притисну чврстоћу од  $\geq 42.5$  до  $\leq 62.5$  МПа после 28 дана. Стога портланд цемент омогућава брже очвршћавање и већу притисну чврстоћу, али природни хидраулични креч формира мање густе и паропропусније материјале.

Иако портланд цемент омогућава брзо очвршћавање и високу притисну чврстоћу, може се аргументовати да је еколошки исправније применити природни хидраулични креч и пуцолане за хидраулични елемент у везивима за бетон од конопље и креча. Приликом калцинације, производња једног килограма клинкера испусти значајну количину  $CO_2$  директно у атмосферу. Део ових емисија се неутралише карбонатизацијом током учвршћивања портланд цемента, али висок степен карбонатизације није загарантован у свим случајевима. Услед веће температуре печења при производњи клинкера, производња портланд цемента захтева веће уносе електричне енергије и фосилних горива у односу на производњу природног хидрауличног креча и многих пуцолана. Осим тога, у поступцима конзервације и рестаурације, портланд цемент се не сматра компатибилним са

историјским конструкцијама, и његова примена са тог аспекта није оправдана.<sup>9</sup> Примена портланд цемента у везиву уместо природног хидрауличног креча или пуцолана би се могла оправдати у случају да временски услови захтевају брже учвршћивање материјала приликом уградње. Пошто портланд цемент има перципиране еколошке недостатке и није део састава најчешће примењиваног композитног везива *Tradical PF70*, природни хидраулични креч и пуцолани су фаворизовани у спроведеном истраживању.

## 2.2 Физичка својства бетона од конопље и креча

Као резултат везивања порозног агрегата (поздер индустријске конопље) и везива, бетон од конопље и креча је веома порозан грађевински материјал чија физичка својства дефинишу микроскопска порозност индивидуалних сировина и макроскопска порозност готове мешавине. Слика 2.7 приказује снимак пресека материјала под електронским микроскопом.



Слика 2.7. Увећан пресек бетона од конопље и креча (Collet et al. 2013)

Еврар и де Херд (Evrard & de Herde 2010) карактеришу три основне величине пора у материјалу: макропоре пречника 1 до 10mm које су одвојене од поздера слојем везива и представљају међуповезане ваздушне просторе формиране услед несавршеног аранжмана поздера у материјалу, веће микропоре пречника 10 $\mu$ m које се налазе унутар поздера и мање микропоре пречника 1 $\mu$ m у матрици везива. Коле и др. (Collet et al. 2013) указују на сличну расподелу и дефинишу макропоре између поздера и везива које могу имати милиметарску ширину, поре у поздеру ширине 5 до 50 $\mu$ m,

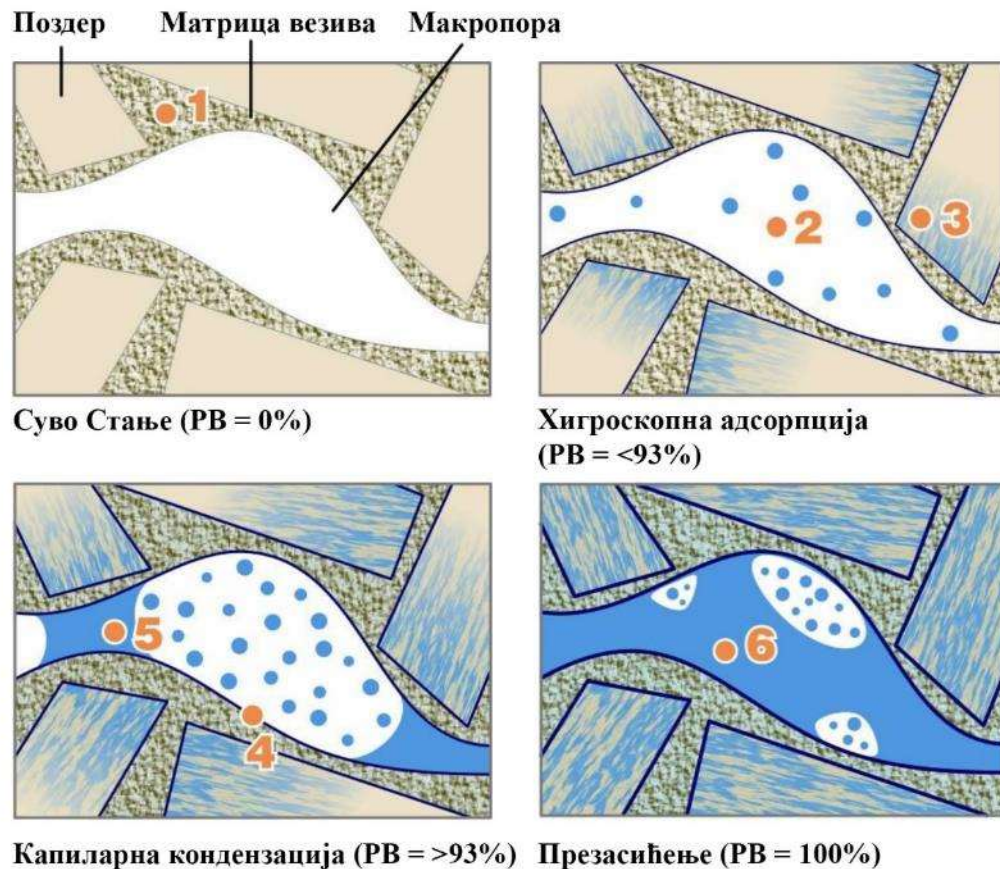
---

<sup>9</sup> Значајно је поново напоменути да је примена бетона од конопље и креча проистекла управо из потреба интервенције на историјским споменицима.

и поре унутар матрице везива ширине 0.01 до 50 $\mu$ m. Стога формиран материјал има високу отворену порозност од преко 70%. Међуповезаност пора омогућава нижу суву топлотну проводљивост, високу паропропусност и добру акустичну апсорпцију (Arnaud & Gourlay 2012).

### 2.2.1 Кретање влаге кроз бетон од конопље и креча

Висока порозност чини бетон од конопље и креча хигроскопним материјалом, који лако апсорбује, адсорбује и испушта влагу из ваздуха према околним променама релативне влаге. Слика 2.8 приказује кретање влаге кроз бетон од конопље и креча према релативној влажности материјала.



Слика 2.8: Кретање влаге према релативној влажности бетона од конопље и креча (Evrard 2008)

Еврар (2008) детаљно описује шест основних фаза кретања влаге кроз материјал. У спољашњим условима релативна влага у фасадном зиду од бетона од конопље и креча никада неће бити 0%. При сувом стању (PB = 0%) вода није присутна у материјалу (1). При ниској и средњој релативној влажности, влага се преноси хигроскопном адсорпцијом. Молекули воде се најпре адсорбују за површину највећих пора (2), а потом и за остатак порозне структуре (3). При високој релативној влажности од преко 80% уз адсорпцију се одвија и површинска дифузија (4) и капиларна



кондензација (5). У зиду од бетона од конопље и креча површинска дифузија и капиларна кондензација постају значајнији од хигроскопне адсорпције када релативно влажност материјала достигне 93%. Садржај воде теоретски може да расте док се све поре не испуне водом када долази до презасићености (6). Пошто грађевине генерално садрже 40-70% релативне влажности, бетон од конопље и креча је углавном у фази хигроскопне адсорпције те садржи одређену количину воде адсорбоване на површини пора (Pritchett, Evrard i Mawditt 2008). Како би се могао стећи бољи увид у хигротермално понашање бетона од конопље и креча, најпре је неопходно разумети основна хидрофизичка и термичка својства овог материјала.

**Коефицијент отпора дифузији водене паре ( $\mu$ )** представља релативну меру отпора материјала према пропуштању водене паре. Бетон од конопље и креча има низак коефицијент отпора дифузији водене паре који у литератури варира од 3.59 до 8.98 у зависности од густине и отвореног порозитета. Ове вредности су упоредиве са вредностима за типичне грађевинске материјале који се користе за изградњу зидова у Србији<sup>10</sup> (МСГИ 2011).

**Коефицијент хигроскопног капацитета (*moisture buffer value, g/(m<sup>2</sup> %RV)*)** представља својство хигроскопних материјала да у контакту са ваздухом адсорбују и десорбују воду како би створили равнотежу са релативном влагом окружења. Дефинише се као количина воде која прође кроз јединицу отворене површине материјала када је изложен променама релативне влажности околног ваздуха (Latif 2015). У литератури коефицијент хигроскопног капацитета бетона од конопље и креча варира од 1.84 до 2.43, што указује на врло добар или одличан хигроскопни капацитет. Вредности хигроскопног капацитета се класификују у неколико категорија које карактеришу способност материјала да регулише промену воде: 0-0.2 је не приметна, 0.2-0.5 је ограничена, 0.5-1.0 је умерена, 1.0-2.0 је добра и преко 2.0 је одлична (Latif et al. 2015). Стога бетон од конопље и креча углавном има одличну способност ублажавања промена релативне влажности. Ово је значајно пошто релативна влажност утиче на комфор и квалитет ваздуха унутрашњег простора, па је могуће умањити потребу за активном амбијенталном контролом и постићи енергетске уштеде. Примена завршне обраде од креча у експерименталним истраживањима смањује коефицијент хигроскопног капацитета са „одличног“ на „добар“, али остаје значајно бољи од других материјала за изградњу зидова. Табела 2.3 приказује вредности хигроскопног капацитета бетона од конопље у литератури у поређењу са типичним материјалима за изградњу зидова.

---

<sup>10</sup> Пуна опека ( $\mu=5-12$ ), шупља опека ( $\mu=4-6$ ), порозна опека ( $\mu=2.5$ ), Поробетон ( $\mu=5$ ), Бетонски шупљи блокови ( $\mu=10$ )

Табела 2.3: Хигроскопни капацитет бетона од конопље и креча и других грађевинских материјала

Материјал	Вредност хигроскопног капацитета ( $g/(m^2 \%RV)$ )	Оцена хигроскопног капацитета
Бетон од конопље и креч (необрађен) (експерименталчна мерења)	1.84 – 2.43	Добар - Одличан
Бетон од конопље и креч (обрађен) (експерименталчно мерење) (Colinart, Lelievre & Gloucannes 2016)	1.4	Добар
Бетон од конопље и креч (обрађен) (симулација) (Evrard & de Herde 2010)	2.11	Одличан
Поробетон (Rode et al 2005)	0.96 -1.11	Добар
Бетон (Rode et al 2005)	0.35-0.42	Ограничен
Опека (Rode et al 2005)	0.35-0.37	Ограничен
Гипс (Rode et al 2005)	0.57-0.69	Умерен

### 2.2.2 Кретање топлоте кроз бетон од конопље и креча

**Топлотна проводљивост ( $\lambda$ )** представља способност материјала да проводи топлоту. Нижа топлотна проводљивост указује да је материјал бољи топлотни изолатор, пошто теже преноси топлоту. Топлотна проводљивост бетона од конопље и креча превасходно зависи од густине материјала и садржаја воде у њему. Додатну варијабилност уносе тип везива, тип поздера и њихов однос, али се ове варијације углавном манифестују кроз промене густине материјала. Повећавање густине негативно утиче на топлотну проводљивост бетона од конопље и креча услед смањене порозности. Серезо (Cerezo 2005) проналази линеаран однос густине и суве топлотне проводљивости за мешавине од бетона од конопље и креча на основу узорака спремљених за кровове (однос поздер:везиво:вода, 1:1:2), зидове (1:2:3) и подове (1:2.5:3.6) при сувом стању. Однос се дефинише формулом (5):

$$\lambda = 0.0002\rho + 0.0194 \quad (5)$$

Већа количина воде у материјалу негативно утиче на топлотну проводљивост пошто вода има већу топлотну проводљивост од ваздуха. Повећавање воде повећава густину материјала, али формула (5) није адекватна да дефинише утицај релативне воде на топлотну проводљивост материјала (Cerezo

2005). Декларисано је да типичан зид од бетона од конопље<sup>11</sup> и креча израђен комерцијалним везивом Tradical PF70, при густини од 330kg/m<sup>3</sup> има топлотну проводљивост од 0.085W/mK (Tradical 2018). Ова вредност је у складу са приказаном формулом (1). У широј литератури се генерално наводи распон топлотне проводљивости од 0.06-0.12W/mK (Shea, Lawrence & Walker 2012, Arnaud & Gourlay 2012 итд.), који је иницијално дефинисан у Серезо (Cerezo 2005). Ово је значајно више од топлотне проводљивости типичних термоизолационих материјала, али пошто је бетон од конопље и креча самоносив материјал, може се користити индивидуално и применити у већим дебљинама. Топлотна проводљивост материјала варира и у односу на правац мерења топлотног флукса. Топлотна проводљивост је нижа кад се мери паралелно са правцем збијања него кад се мери управно на правац збијања (Nozahic 2013, Dinh et al. 2014, Pierre, Colinart & Glouannec 2014, Williams, Lawrence and Walker 2018). Када се материјал слаже ручно топлота пролази управно са правцем слагања материјала док префабриковани елементи могу да се израде тако да топлота пролази паралелно.

**Специфични топлотни капацитет (с)** представља способност материјала да сачува топлоту, исказано кроз количину енергије неопходну да се јединица масе материјала подигне за јединицу температуре. У литератури се специфични топлотни капацитет бетона од конопље и креча креће између 1000 и 1560J/kgK. Добри термоизолатори имају виши специфични топлотни капацитет што им омогућава да апсорбују више топлоте пре него што им се температура подигне и пренос топлоте започне. Специфични топлотни капацитет, топлотна проводљивост и густина такође утичу на термичку инертност или термичку масу материјала. Термичка маса представља способност материјала да прихвати, сачува и касније испусти топлотну енергију умањујући ефекат наглих промена спољашње температуре на унутрашњи простор. Термичка маса материјала се може исказати кроз **топлотну дифузивност (α)** и **топлотни ефузитет (е)**. Топлотна дифузивност представља стопу преноса топлоте кроз материјал и рачуна се као однос топлотне проводљивости и сачуване топлоте у материјалу (6) (Kinnane et al. 2014).

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} \quad (6)$$

Нижа вредност означава да материјал дуже одлаже промене температуре и стога омогућава бољу контролу унутрашњег амбијента у односу на спољашње температурне осцилације. Топлотни ефузитет представља способност материјала да размењује топлоту са својим окружењем (Kinnane et

---

<sup>11</sup> Однос 1:2.2:3 (поздер:везиво:вода)

al. 2014). Рачуна се као квадратни корен производа топлотне проводљивости, густине и специфичног топлотног капацитета материјала (7).

$$e = \sqrt{(\rho \cdot \lambda \cdot c)} \quad (7)$$

Виша вредност указује да материјал може да апсорбује и сачува већу количину топлоте. Табела 2.4 указује на физичка својства бетона од конопље и креча у односу на конвенционалне грађевинске материјале који се користе у Србији. Узима се у обзир просечан специфични топлотни капацитет од 1250 J/KgK (Oumeziane 2014), док су остали подаци за типске зидове од бетона од конопље и креча израчунати на основу формула (5), (6) и (7). Топлотна проводљивост, густина и специфични топлотни капацитет конвенционалних грађевинских материјала су преузети из „Правилника о енергетској ефикасности зграда“ (МГСИ 2011) и искоришћени у формулама (6) и (7).

Табела 2.4: Термичка својства бетона од конопље и креча и других грађевинских материјала

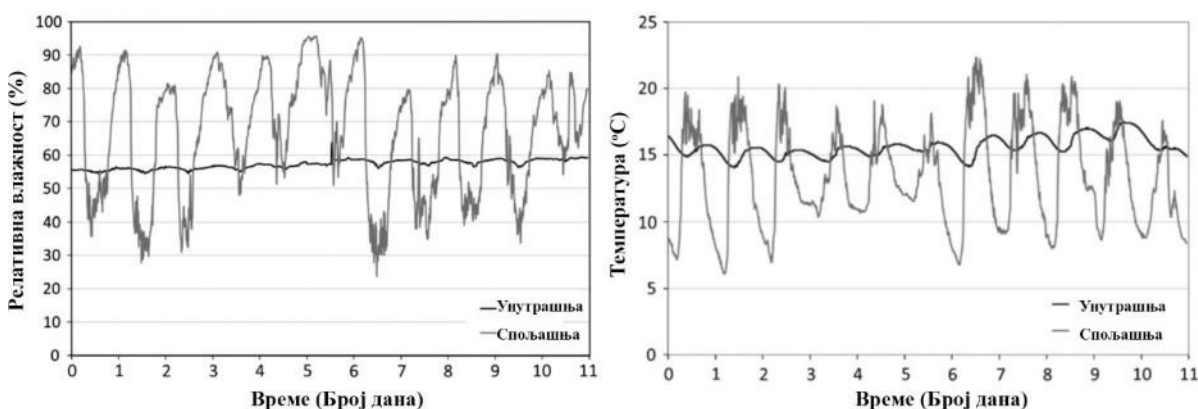
Материјал	Густина (kg/m <sup>3</sup> )	Топлотна проводљивост (W/mK)	Специфични топлотни капацитет (J/KgK)	Топлотна дифузивност (m <sup>2</sup> /s)	Топлотни ефузитет (J/m <sup>2</sup> K√s)
Бетон од конопље и креча, лаки зид	330	0.085	1250	2.06 x 10 <sup>-7</sup>	187.25
Бетон од конопље и креча, средњи зид	390	0.097	1250	1.99 x 10 <sup>-7</sup>	217.46
Бетон од конопље и креча, тешки зид	450	0.11	1250	1.99 x 10 <sup>-7</sup>	248.75
Шупља опека	1200	0.52	920	4.71x 10 <sup>-7</sup>	757.68
Порозна опека	800	0.33	920	4.48x 10 <sup>-7</sup>	492.82
Пуна опека	1800	0.76	920	4.59x 10 <sup>-7</sup>	1122.85
Поробетон	440	0.13	860	3.44 x 10 <sup>-7</sup>	221.79
Бетон	2200	1.51	960	7.15x 10 <sup>-7</sup>	1785.81
Камена вуна	80	0.034	840	5.06x 10 <sup>-7</sup>	47.80
Експандирани полистирен	20	0.041	1260	1.63x 10 <sup>-6</sup>	32.14

Уочава се да бетон од конопље и креча има најнижу топлотну дифузивност и да може добро да ублажава температурне варијације. Међутим у поређењу са материјалима који имају велику термичку масу попут бетона и различитих врста опеке, има релативно низак топлотни ефузитет што указује да не може да апсорбује велику количину топлотне енергије пре него што је испусти у унутрашњи простор. На ово указују Малуф и др. (Maalouf et al. 2014) у симулацији која показује да

бетон од конопље и креча не може самостално да спречи прегревање у градовима на југу Француске. Међутим, са додатним пасивним стратегијама<sup>12</sup>, проблем прегревања је значајно умањен<sup>13</sup>, што указује да бетон од конопље и креча може да се примењује и у врло топлим климама.

### 2.2.3 Резиме о хигротермалним својствима

Позитивно хигротермално понашање бетона од конопље и креча евидентирано је експериментално у објектима (Yates 2002; Shea, Walker & Lawrence 2012, Moujalled et al. 2018). Слика 2.9 приказује амбијентална мерења у експерименталом “*Нетпод*” објекту из истраживања Шеј, Лоренц и Волкер (Shea, Lawrence & Walker 2012).



Слика 2.9: Мерења релативне влажности и температуре у експерименталном објекту од бетона од конопље и креча (Shea, Lawrence & Walker 2012).

Мерења унутар “*Нетпод*” објекта су показала да су унутрашњи амбијентални услови остајали стабилни без активне климатске контроле и упркос значајним спољашњим варијацијама температуре и релативне влажности. Мерења током целог месеца маја су показала да је просечна дневна варијација температуре у објекту била  $0.9^{\circ}\text{C}$ , док је просечна варијација спољашње температуре била  $6.5^{\circ}\text{C}$  (Shea, Lawrence & Walker 2012). На основу приказаних хигротерманилих својстава евидентно је да бетон од конопље и креча може бити одличан регулатор влаге и добар регулатор топлоте. Сматра се да коефицијент пролаза топлоте ( $U$ ) није апсолутно меродаван параметар за валоризацију конструкције од бетона од конопље и креча, пошто разматра деловање при стабилном стању, а не динамичним условима (Yates 2002; Pritchett, Evrard i Mawditt 2008; Evrard & De Herde 2010; Shea, Walker & Lawrence 2012). Кроз одлично ублажавање промена релативне

<sup>12</sup> Соларна заштита, ноћна вентилација и бела боја

<sup>13</sup> Период прегревања без соларне заштите и пасивних стратегија: Марсеј (89.4%), Карпентрас (87.9%), Бордо (83.6%). Период прегревања са соларном заштитом, ноћном вентилацијом и белом бојом: Марсеј (40.8%), Карпентрас (20.8%), Бордо (6.9%) (Maalouf et al. 2014).

влаге и добро ублажавање температурних промена, бетон од конопље и креча омогућава енергетске уштеде при регулисању унутрашњег амбијента и добар унутрашњи комфор. Евидентно је да је бетон од конопље и креча свестран и прилагодљив грађевински материјал са позитивним физичким својствима која га чине занимљивим за истраживање у контексту Србије.

#### **2.2.4 Отпорност бетона од конопље и креча на пожар**

Према „Правилнику о начину исказивања перформанси грађевинских производа и елемената зграде у вези са битним карактеристикама – реакција на пожар, отпорност на пожар и понашање при спољашњем пожару“ (МГСИ 2022), класификација грађевинских производа се врши према стандардима из серије *EN 13501*. Произвођачи бетона од конопље и креча објављују класификацију горивости од *B, s1, d0* према стандарду *EN 13501-1* (Tradical 2016b, Isohemp 2022). Ово указује да је сам бетон од конопље и креча сагорив материјал, али да има веома ограничен допринос пожару, испушта мало или нимало дима и не формира запаљиве честице. Према *ASTM E84* тест методи за испитивање површинске горивости грађевинских материјала, узорци од бетона од конопље и креча су добили најбољу могућу оцену (0 у рангу од 0 до 450) за индексе ширења пожара и стварања дима (Nempitecture 2020). Може се претпоставити да ће тачна својства отпорности на пожар зависити од примењених сировина и односа поздера и везива у смеси, те да ће мешавине са већом количином везива бити отпорније на пожар. Такође треба узети у обзир да би зид од бетона од конопље и креча у пракси морао бити обрађен бар са спољашне стране, што би додатно допринело отпорности на пожар. Према произвођачу блокова од конопље и креча (Isohemp 2022), малтерисани блокови (дебљина >200mm) имају структурну отпорност на пожар од 120 минута (*EI 120*) према стандарду *EN 1364-1* за тестове отпорности на пожар неносећих зидова. Ланос (2017) наводи да зид од бетона од конопља и креча обрађен малтером има класификацију *A2, s1, d0* што указује на веома ограничену горивост. Табела 2.5 приказује неопходну отпорност према пожару елемената конструкције која је прописана у „Правилнику о техничким нормативима за заштиту од пожара стамбених и пословних објеката и објеката јавне намене“ (МГСИ 2019).

Табела 2.5: Прописана отпорност према пожару елемената конструкције према усвојеном степену отпорности према пожару (МГСИ 2019)

Елементи Конструкције	Положај	Отпорност према пожару елемената конструкције у зависности од усвојеног степена отпорности према пожару (h)				
		I незнатна	II мала	III средња	IV већа	V велика
Носећи зид	Унутар пожарних сектора	1/4	1/2	1	1,5	2
Стуб		1/4	1/2	1	1,5	2
Греда		-	1/4	1/2	1	1,5
Међуспратна конструкција		-	1/4	1/2	1	1,5
Неносећи зид		-	1/4	1/2	1/2	1
Кровна конструкција	/	-	1/4	1/2	1	1
Зид	На граници пожарних сектора	1/4	1	1,5	2	2
Међуспратна конструкција		1/4	1/2	1	1,5	2
Врата површине до 3,6 m <sup>2</sup>		1/4	1/4	1/2	1	1,5
Врата површине веће од 3,6 m <sup>2</sup>		1/4	1/2	1	1,5	2
Конструкције евакуационог пута/коридора евакуације	/	1/4	1/2	1/2	1	1,5
Фасадни зид	Спољне	-	1/2	1/2	1	1
Кровни покривач	конструкције	-	1/4	1/2	3/4	1

Пошто су објекти од бетона од конопље и креча типично ниже спратности, за већину стамбених<sup>14</sup> и пословних<sup>15</sup> објеката од бетона од конопље и креча било би неопходно постићи мали (II) или средњи (III) степен отпорности према пожару. У случају објекта ниже спратности са већим бројем корисника (преко 100) било би неопходно постићи већи (IV) степен отпорности према пожару. С обзиром да обрађени зид од бетона од конопље и креча може имати структурну отпорност према пожару од 120 минута, евидентно је да бетон од конопље и креча може задовољити прописе дефинисане у „Правилнику о техничким нормативима за заштиту од пожара стамбених и пословних објеката и објеката јавне намене“ (МГСИ 2019) када се примењује у објектима ниже спратности. Стога иако је материјал на биолошкој основи, услед кречног везива, бетон од конопље и креча има веома добру отпорност на пожар и може испунити захтеве домаће регулативе за отпорност на пожар.

<sup>14</sup> До 12m висине (ИС1 и НС1)

<sup>15</sup> До 10m висине (ИП1 и НП1)

## 2.3 Примена бетона од конопље и креча

Однос поздера и везива значајно утиче на физичка својства материјала и омогућава различите примене. Најлакше мешавине (однос поздера и везива 1:1) се користе за изолацију кровова, средње (однос 1:2) за изградњу зидова, а најтеже (однос 1:3 или 1:4) за израду подова. Повећавање количине везива у односу на поздер, повећава густину и притисну и затезну чврстоћу бетона од конопље и креча, али умањује топлотну проводљивост. Табела 2.5 приказује очекивана физичка својства и примене бетона од конопље и креча према односу поздера и везива.

Табела 2.5: Механичка и термичка својства типичних мешавина бетона од конопље и креча (Shea, Walker & Lawrence 2012), на основу резултата из (Cerezo 2005)

Примена	Однос поздер:везиво (према маси)	Густина (kg/m <sup>3</sup> )	Притисна чврстоћа (МПа)	Топлотна проводљивост (W/mK)
Изолација крова	1:1	220	0.05	0.06
Конструкција зида	1:1.5	275	0.11	0.06 - 0.09
Конструкција зида	1:2	330	0.22	0.09 - 0.115
Конструкција зида	1:2 (компресовано)	440	0.35	0.115
Изолација пода	1:3	500	0.8	0.13
Изолација пода	1:4	600	1.15	0.14

У примени бетона од конопље и креча је неопходно балансирати механичке карактеристике са оптималном топлотном проводљивошћу. Стога се при изолацији кровова примењују лаке мешавине са довољно механичке снаге да подрже своју тежину и структуру, док се за подове примењују мешавине веће густине са већом притисном чврстоћом.

### 2.3.1 Изградња зидова од бетона од конопље и креча

Бетон од конопље и креча се најчешће користи за изградњу зидова *in situ* или префабриковањем. Типична пракса за изградњу зидова у новоградњи или у поступку рестаурације подразумева изливање или слагање материјала око дрвене конструкције, док примена у енергетској санацији генерално подразумева примену материјала на површину постојећег зида. Начин изградње и обраде зида у новоградњи утиче на позицију конструктивног система у односу на бетон од конопље и креча.

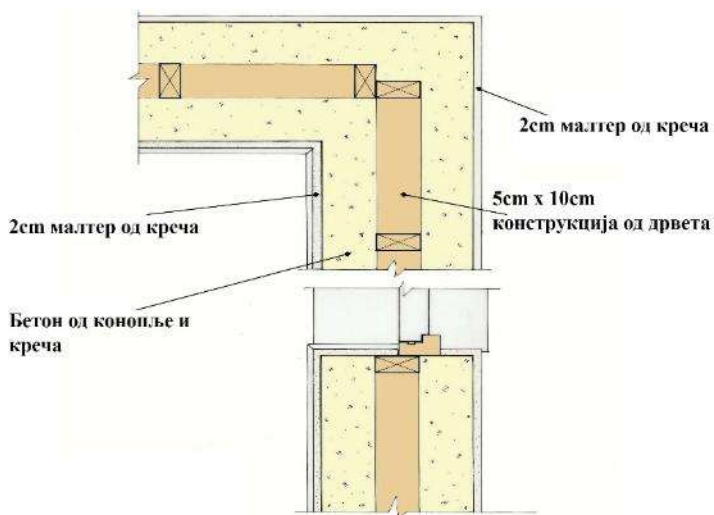


### 2.3.1.1 *In situ* примена бетона од конопље и креча

Основни вид *in situ* изградње подразумева примену материјала ручном испуном око рамовског конструктивног система од дрвета. Слика 2.10 приказује *in situ* зид од бетона од конопље и креча у фази изградње, док Слика 2.11 приказује основу зида од бетона од конопље и креча.

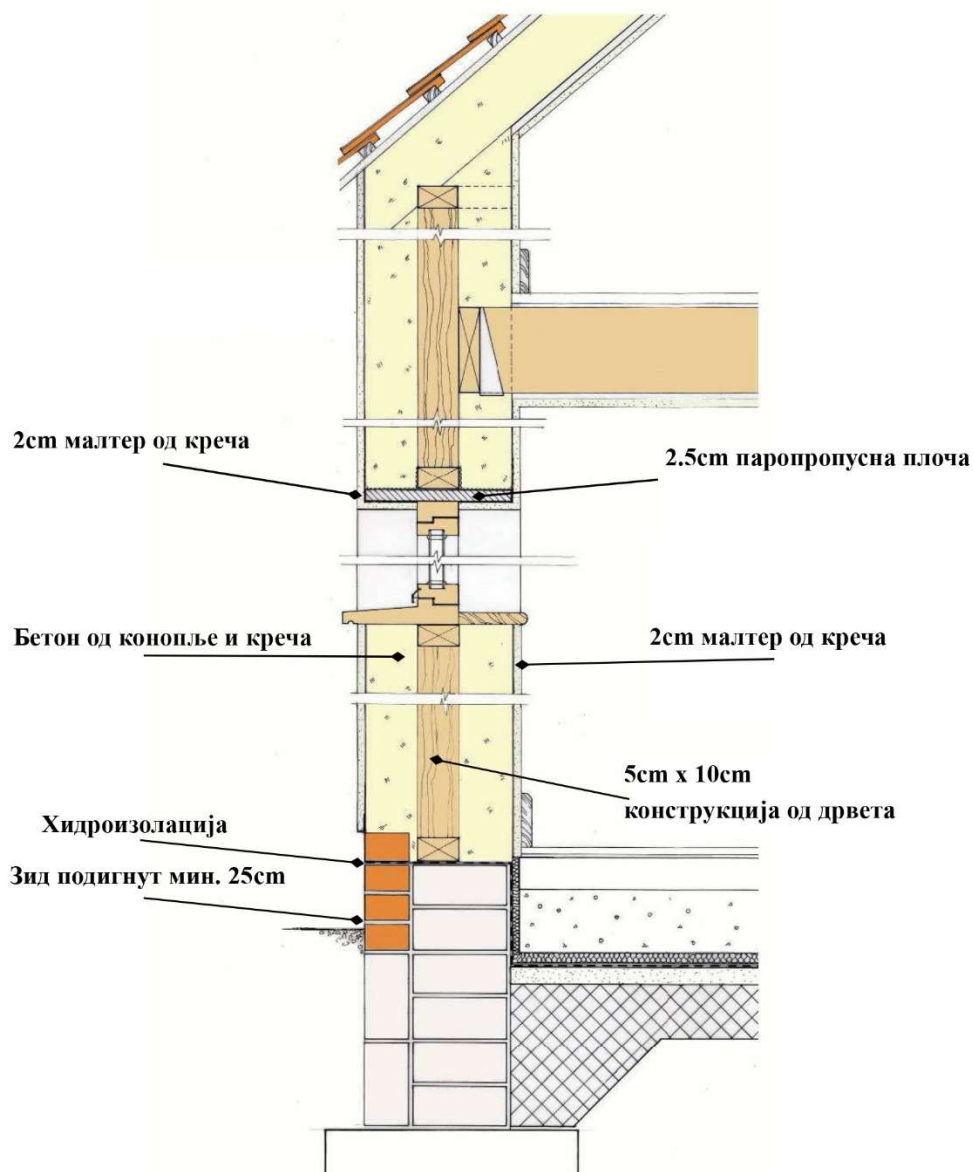


Слика 2.10: *In situ* зид од бетона од конопље и креча у изградњи (Stanwix 2013)



Слика 2.11: Основа зида од бетона од конопље и креча са централно постављеном носећом конструкцијом (Tradical n.d)

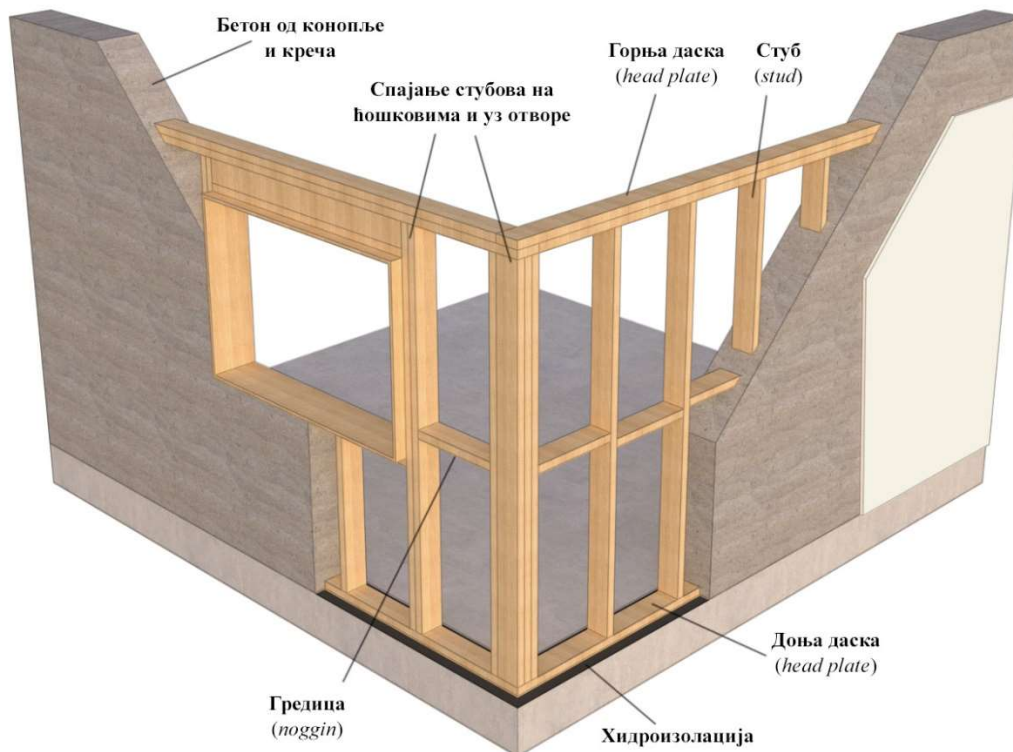
Изградња *in situ* зида од бетона од конопље и креча најпре подразумева подизање рамовског конструктивног система од дрвета (*stud wall*) и постављање привремене оплате за изливање зида. При мешању материјала кључно је користити тачне односе поздера, везива и воде како би зид благовремено очврнуо и како би се сировине адекватно повезале (Stanwix & Sparrow 2014). Материјал се најчешће меша у хоризонталним мешалицама са принудним мешањем, али може да се меша и у класичним мешалицама са бубњем. Бетон од конопље и креча се преноси у кофама, сипа у оплату и ручно равномерно распоређује без претераног збијања или притискања. Претерана компресија материјала повећава густину зида и има негативан утицај на хигротермална својства. Слика 2.12 приказује конструктивни пресек зида од бетона од конопље и креча са централно позиционираном дрвеном конструкцијом.



Слика 2.12: Пресек зида од бетона од конопље и креча са централно позиционираном дрвеном конструкцијом (Tradical n.d)

Зид од бетона од конопље и креча је неопходно изградити на постољу од бар 25cm како би се заштитио од прскања кише и формираних бара, док се дрвена конструкција најчешће поставља централно у зиду како би се дрво боље заштитило и постигло адекватно укрућење зида (Stanwix & Sparrow 2014). Хидроизолација се поставља преко постоља испод бетона од конопље и креча и доње даске дрвеног конструктивног система (*sole plate*). Алкалност везива штити дрвену конструкцију од биодетериорације и напада штеточина, те се углавном примењује незаштићено дрво (Hirst 2013).

Слика 2.13 даје тродимензионални приказ односа конструктивног система од дрвета и бетона од конопље и кеча.



Слика 2.13: Изометријски приказ односа дрвене конструкције и бетона од конопље и кеча (Аутор)

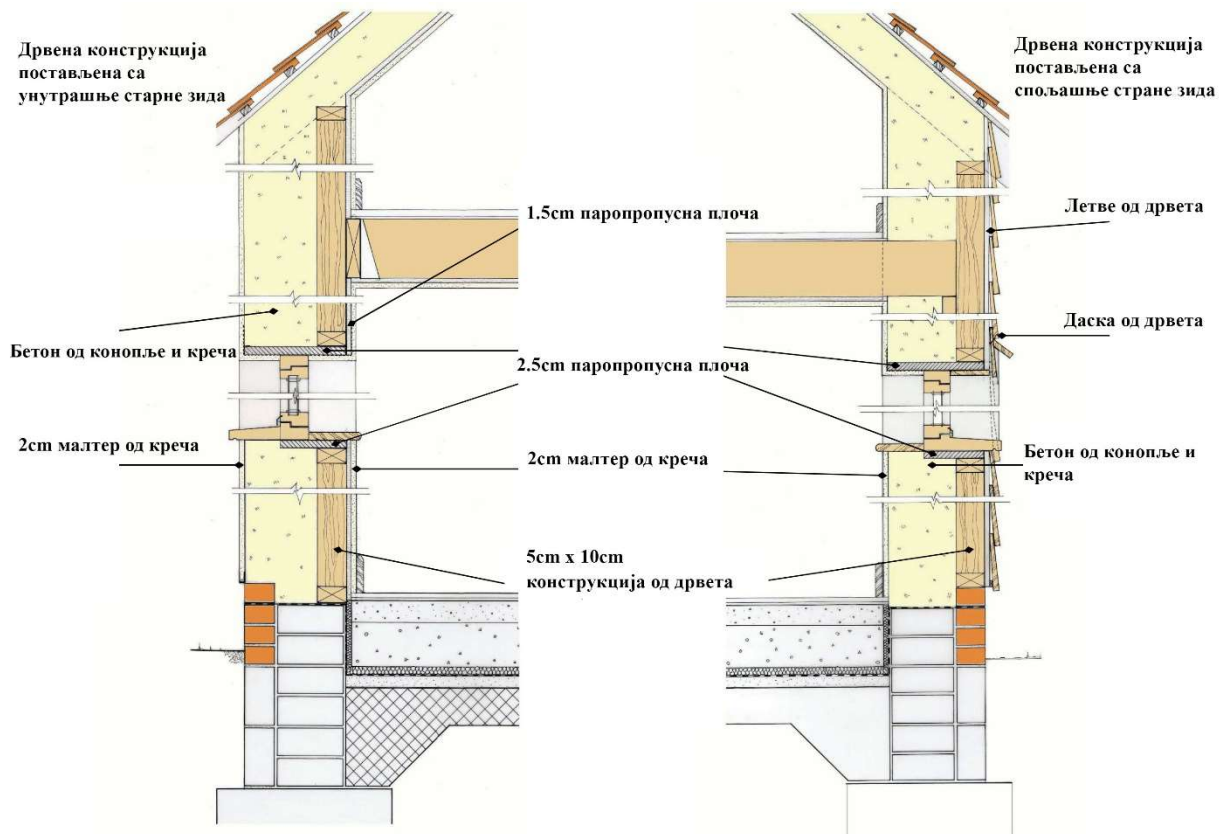
Конструктивни систем (*stud wall*) се састоји од доње (*sole plate*) и горње даске (*head plate*) и стубова који се постављају на интервалима од 45 до 60cm. Грос и Волкер (Gross & Walker 2014) налазе да бетон од конопље и кеча побољшава притисну чврстоћу и латералну стабилност дрвеног рамовског конструктивног система, услед растегљивог механичког понашања и отпора на пуцање под оптерећењем. Услед латералне стабилности коју бетон од конопље и кеча пружа конструктивном систему Стенвикс и Спероу (Stanwix and Sparrow 2014) препоручују да се хоризонтални и дијагонални елементи у дрвеној конструкцији минимизирају и додају само уколико су статички неопходни пошто отежавају изливање материјала. Један ред хоризонталних гредица (*noggins*) се ипак често додају између вертикалних стубова, а дијагонални елементи се по потреби могу поставити преко или између стубова. Хоризонталне гредице се најчешће додају поред отвора. Око отвора и ћошкова стубови се спајају како би се конструкција ојачала. Коле и Прето (Collet & Pretot 2014b) су показали да при централној позицији дрвена конструкција нема негативан утицај на хигротермално понашање зида од бетона од конопље и кеча. Алтернативан вид *in situ* изградње је

прскање под притиском у полу затворену конструкцију. Слика 2.14 приказује процес прскања бетона од конопље и креча.



Слика 2.14: Прскање бетона од конопље и креча под притиском у полу затворену дрвену конструкцију (Hempitecture 2020)

При градњи до  $100\text{m}^3$  бетона од конопље и креча цена ручне испуне и прскања је слична, али је за веће објекте апликација прскањем ефикаснија (Stanwix & Sparrow 2014). Поздер и навлажено везиво се мешају при крају распрскивача, избацују под високим притиском и лепе за површину оплате. Дрвена конструкција се поставља са унутрашње стране зида, а оплата је најчешће паропропусна плоча од дрвених влакана која чини део финалне зидне конструкције (Bevan & Woolley 2008). Дрвена конструкција се може поставити са унутрашње или спољашње стране зида. Слика 2.15 приказује пресеке зида од бетона од конопље са дрвеном конструкцијом постављеном са унутрашње и спољашње стране.



Слика 2.15: Пресеци зида од бетона од конопље и креча са алтернативно позиционираном дрвеном конструкцијом (Tradical n.d)

Дрвена конструкција се често поставља са унутрашње стране зида и уколико постоји жеља да се конструкција открије, уколико је неопходно закачити тешке предмете за зид или уколико се зид од бетона од конопље и креча поставља испред класичне конструкције са стубовима и гредама (Stanwix & Sparrow 2014). Дрвена конструкција се поставља са спољашње стране зида када се примењује вентилисана фасада. Неопходно је заштити конструктивни систем применом паропропусне фолије са спољашње стране зида. Стенвикс и Спероу (Stanwix & Sparrow 2014) предлажу увлачење конструктивног система 50mm у зид и малтерисање спољашње површине кречним малтером као алтернативу паропропусној фолији. *In situ* бетон од конопље и креча може да се користи и са алтернативним конструктивним системима. У новоградњи се типично користи у комбинацији са скелетним конструктивним системима од тврдог или ламелираног дрвета (*glulam*), али се може користи и са челичним и бетонским конструкцијама. Стубови могу бити постављени унутар зида од бетона од конопље и креча или иза зида. Стенвикс и Спероу (Stanwix & Sparrow 2014) напомињу да може бити неопходно заштити челик и ламелирано дрво премазом где долазе у директан контакт са *in situ* бетоном од конопље и креча услед алкалности и влажности материјала. *In situ* зид од бетона

од конопље захтева примену секундарне рамовске дрвене конструкције која се повезује са носећом конструкцијом. *In situ* бетон од конопље и креча може да се комбинује и са масивним системима градње али се то типично ради у санацији постојећих објеката. У новоградњи се може комбиновати са префабрикованим блоковима од бетона од конопље и креча. Слика 2.16 приказује зид од бетона од конопље и креча у склопу скелетне конструкције од храста, док слика 2.17 приказује вишеспратни објекат социјалног становања *Max Dormoy* у Паризу који примењује *in situ* бетон од конопље и креча око конструкције од армираног бетона.

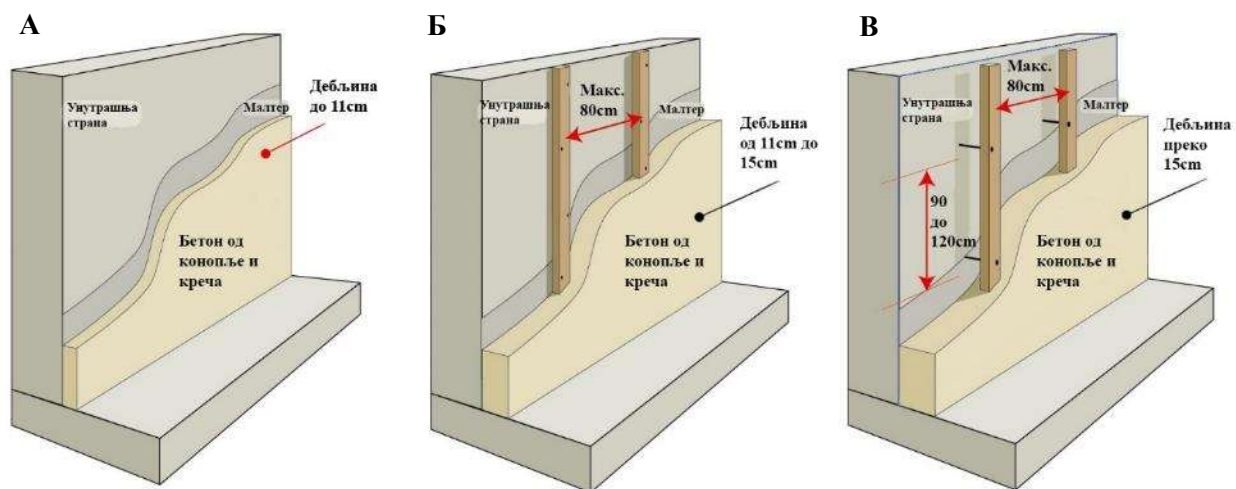


Слика 2.16: *In situ* зид од бетона од конопље и креча изграђен испред скелетне конструкције од храста (UKhempcrete 2013)



Слика 2.17: Бетонска конструкција са *in situ* бетоном од конопље и креча (Barrault Pressacco 2019)

У енергетској санацији или рестаурацији постојећих објеката могуће је применити бетон од конопље и креча *in situ* ручно или прскањем, на било коју масивну конструкцију са унутрашње или спољашње стране. Пре него што се бетон од конопље и креча може применити неопходно је уклонити површинску обраду која садржи цемент или гипс. Пре изливања се препоручује обрада површине зида танким слојем малтера од везива за бетон од конопље и креча и песка (Tradical 2016), мада је могуће применити бетон од конопље и креча директно на очишћену површину зида (Stanwix & Sparrow 2014). Слика 2.18 приказује праксу санације постојећег зида применом *in situ* бетона од конопље и креча. У дебљинама до 11cm бетон од конопље и креча може да се примени директно на површину зида без дрвене конструкције (А). При дебљинама од 11 до 15cm неопходно је излити бетон од конопље и креча око дрвених летви које се постављају на површину зида (Б). За све дебљине преко 15cm, неопходно је одаљити летве од површине зида ради додатне подршке бетону од конопље и креча (В).



Слика 2.18: Сценарији санације зида са *in situ* бетоном од конопље и креча (Weber-Tradical n.d.a)

У рестаурацији историјских објеката са испуном по типу чатме, бетон од конопље и креча може да се излива ручно између бондручног конструктивног система као потпуна замена за чатму или као допуна за парцијално оштећену чатму. У рестаурацији и санацији историјских објеката бетон од конопље и креча се у већини случајева излива ручно у оплату, пошто прскање може оштетити грађевину (Stanwix & Sparrow 2014). Велика предност бетона од конопље и креча у рестаурацији историјских објеката је што може да се излива *in situ* и тачно уклопи у постојећу конструкцију. Када се мењају цели делови зида између бондрук конструкције, бетон од конопље и креча се излива око дрвених стубића који се причвршћују за бондрук конструкцију (Слика 2.19). Када се бетон од конопље и креча примењује на постојећу чатму онда се наноси преко летвица (Слика 2.20). У оба сценарија могуће је користити дрво леске које се у многим срединама традиционално користило за израду чатме и које се може обнављати изданцима из корена.



Слика 2.19: Припрема објекта са бондрук конструкцијом за рестаурацију са бетоном од конопље и креча (Stanwix 2013)



Слика 2.20: Примена бетона од конопље и креча преко чатме (Stanwix 2013)

Приликом *in situ* израде бетона од конопље и креча, оплата се скида чим се везиво довољно учврсти да зид добије самоносивост. Зид се потом мора осушити до око 15% садржаја влаге, пре него што се површина зида може обрадити. Период сушења зависи од временских услова. Стенвикс и Спероу (Stanwix & Sparrow 2014) указују да је типичном зиду од 300mm потребно 6 до 8 недеља, да се адекватно осуши. Они не препоручују *in situ* изградњу на температурама испод 10°C, због процеса очвршћавања везива. Зидови су стога типично 300-350mm дебљине, како би се избегли предуги периоди сушења на градилишту. Међутим, треба имати у виду да WISE<sup>16</sup> зграда (Велшки Институт за Одрживо Образовање) примењује зидове од бетона од конопље и креча дебљине 500mm (Centre for Alternative Technology n.d.), што указује да су дебљи зидови могући.

### **2.3.1.2 Префабриковани елементи од бетона од конопље и креча**

Бетон од конопље и креча се може префабриковати у форми блокова и панела. Основна предност префабрикације је елиминација периода сушења на градилишту. Блокови су чешћи вид префабрикације и формирају се компресовањем смесе од поздера и везива. Блокови се слажу на танком слоју малтера који се најчешће прави од хидрауличног креча и песка (Stanwix & Sparrow 2014). Блокови могу бити лакши уколико се примењују за термоизолацију или гушћи уколико се примењују за преградне зидове. Термоизолациони блокови су веома свестрани и могу да се користе са готово свим врстама скелетних и масивних конструкција. У скелетним конструкцијама зид од префабрикованих блокова може да се постави испред конструкције у једном једном реду или се зид може поставити око стубова у два реда блокова. У комбинацији са масивним конструкцијама блокови се користе као слој термоизолације и могу да се повежу са зидом са спољашње или унутрашње стране. Зид од блокова од бетона од конопље и креча такође не може бити носећа конструкција, али је самостојећа конструкција и не захтева примену рамовске дрвене конструкције. Блокови се повезују са конструкцијом користећи металне анкере и спојнице. Сlike 2.21 до 2.28 приказује различите начине градње блоковима од бетона од конопље и креча.

---

<sup>16</sup> Wales Institute for Sustainable Education (WISE)





Слика 2.21: Зид од блокова од бетона од конопље и креча са скелетном конструкцијом од храста (Sparrow 2019)



Слика 2.22: Зид од блокова од бетона од конопље и креча са челичном скелетном конструкцијом (UKHempcrete 2017)



Слика 2.23: Конструкција од ламелираног дрвета са префабрикованим блоковима и *in situ* бетоном од конопље и креча (UKHempcrete n.d.a)



Слика 2.24: Два реда блокова од бетона од конопље и креча око дрвене конструкције (Isohemp 2018a)



Слика 2.25: Блокови од бетона од конопље и креча у сендвич конструкцији (Isohemp 2015)



Слика 2.26: Блокови од бетона од конопље и креча између дрвене конструкције (UKHempcrete n.d.b)

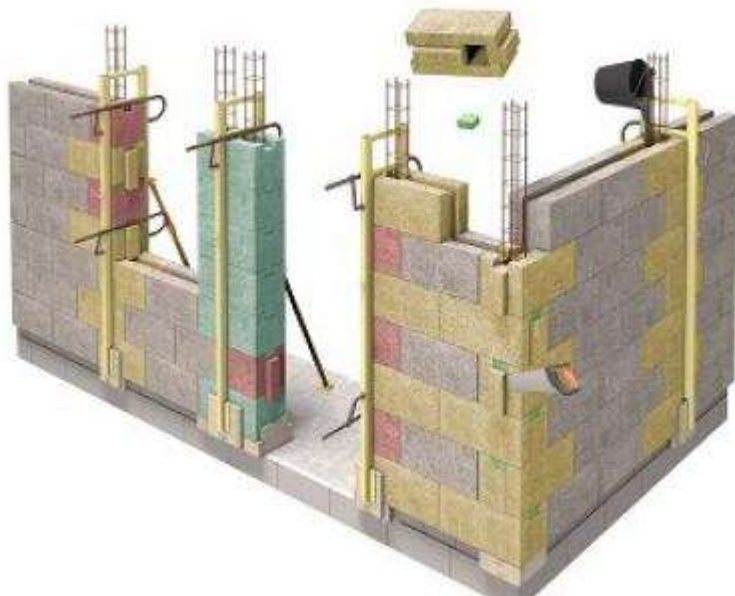


Слика 2.27: Блокови од бетона од конопље и креча постављени са унутрашње стране објекта (Isohemp 2018b)



Слика 2.28: Блокови од бетона од конопље и креча као спољашња термоизолација зида од бетонских блокова (Isohemp 2016)

Блокови имају ниже декларисане топлотне проводљивости од *in situ* система.<sup>17</sup> У научним истраживањима топлотна проводљивост бетона од конопље и креча је нижа када се топлотни флуks мери паралелно са правцем збијања него кад се мери управно на правац збијања (Nozahic 2012, Dinh et al. 2014, Pierre, Colinart & Glouannec 2014, Williams, Lawrence and Walker 2018). Када се материјал поставља ручно, топлота пролази управно на правац изливања материјала. Може се претпоставити да је разлог за нижу топлотну проводљивост лаких блокова повећани удео поздера у смеси и способност промене правца збијања приликом префабрикације. Међутим иако блокови могу имати нижу топлотну проводљивост, спојеви од малтера представљају прекиде у термичком омотачу објекта, који умањују термоизолациону способност зида. Алтернативан систем градње блоковима је *Biosys*® (Solution Biosys n.d.) и *Hempro*® (Isohemp 2021a). Блокови имају жлебове и слажу се без малтера и користе у комбинацији са конструктивним системом од армираног бетона који се излива између блокова да формира систем стубова и греда. Према подацима произвођача *Biosys*® зид од 300mm може да постигне коефицијент пролаза топлоте од 0.24W/m<sup>2</sup>K. *Hempro*® представља сличан систем, али се редови блокова повезују малтером. Слика 2.29 даје приказ принципа изградње са *Biosys*® системом.



Слика 2.29: Приказ конструкције изграђене користећи *Biosys*® блокове и армиран бетон (Solution Biosys n.d.)

<sup>17</sup> 0.071W/mK (ISOhemp 2022)

Бетон од конопље и креча такође може да се примењује у склопу носећих или неносећих префабрикованих панела, али овај вид префабрикације је ређи од производње блокова. Префабриковани панели обично имају конструкцију од дрвета. *Flat house* кућа у Енглеској користи префабриковане панеле од дрвета са испуном од *in situ* бетона од конопље и креча. Панели су затворени дрвеним плочама са једне стране и испуњени бетоном од конопље и креча у хоризонталном положају. Након инсталације на локацији, панели су покривени са додатном изолацијом од дрвених влакана са спољашње стране. Слика 2.30 приказује дрвену конструкцију префабрикованог панела, док Слика 2.31 приказује готове панеле у склопу објекта *Flat house*.



Слика 2.30. Производња префабрикованог панела (Practice Architecture 2019)



Слика 2.31. Необрађени панели од бетона од конопље и креча унутар *Flat* куће (Practice Architecture 2019)

Основна предност префабрикације је елиминација периода сушења на градилишту и убрзавање и поједностављивање изградње бетоном од конопље и креча, мада *in situ* примена материјала формира монолитни зид са мање ризика од топлотних мостова. Блокови и панели могу потенцијално имати ниже топлотне проводљивости, али њихова производња уноси додатне процесе у животни циклус материјала, те је значајно испитати еколошке импликације префабрикације.

### 2.3.1.3 Обрада зида од бетона од конопље и креча

Површина зида од бетона од конопље и креча се мора заштитити паропропусном обрадом како би се зид консолидовао, спречила физичка оштећења и претеран продор влаге (Stanwix & Sparrow 2014). Најчешће се примењују малтери од креча пошто они најмање утичу на хигротермална

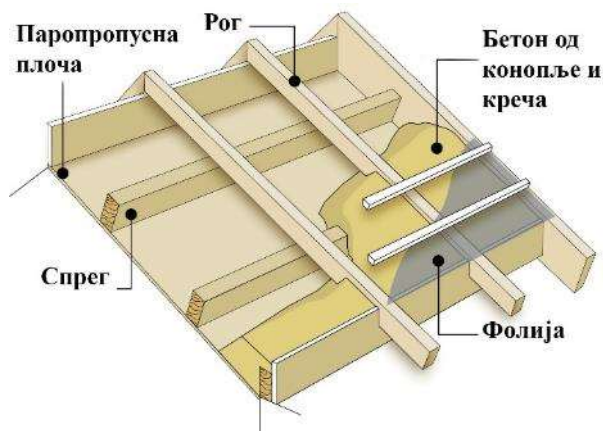
понашања бетона од конопље и креча (Latif et al. 2015). Није пожељно применити обраду од малтера, пре него што се зид осуши, пошто влага у зиду може оштетити обраду а обрада може отежати сушење зида (Stanwix & Sparrow 2014). Типично се користе малтери од кречног теста и песка или хидрауличног креча и песка, али је могуће применити и друге паропропусне обраде. У истраживању које су спровели Дакал и други (Dhakal et al. 2017) симулирано је хигротермално понашање два зида од бетона од конопље и креча у клими Торонта у Канади. Један зид је обрађен кречним малтером са обе стране, а други са спољашње стране фасадном даском од смреке и паропропусном фолијом, а кречним малтером са унутрашње стране. Симулација је показала да оба конструктивна склопа имају добро хигротермално понашање без појаве кондензације, буђи и оштећења изазваних сољу и ниским температурама. Детаљно поређење ова два конструктивна склопа показује да склоп са вентилисаном фасадом има боље хигротермално понашање, зато што ваздушни слој и облога штите зид од прекомерног улаза воде и омогућава му да се боље осуши. Стога је значајно бирати фасадну обраду према климатским условима и примењивати материјале који ће што мање утицати на високи хигроскопни капацитет бетона од конопље и креча. У случају израде вентилисане фасаде најчешће се користе дрвене даске за облогу, али је могуће искористити и друге паропропусне материјале. За обраду *Flat* куће користе се панели направљени од конопљиних влакана и шећерне смоле добијене од пољопривредног отпада (Слика 2.32).



Слика 2.32. Фасадни панели од конопљиних влакана на *Flat* кући (Levy 2020)

### 2.3.2 Примена бетона од конопље и креча у крововима и подовима

Бетон од конопље и креча се примењује за изолацију кровова изливањем између кровних греда за косе и равне кровове. Као што је приказано у Табели 2.5, мешавине које се примењују за кровове генерално имају једнак однос поздера и везива, ниску густину и могу да носе само своју тежину. Иако су мешавине за израду кровова лакше од мешавина за зидове и даље су значајно гушће од већине конвенционалних изолационих материјала попут камене вуне или експандираног полистирена. Уз то имају већу топлотну проводљивост, те захтевају дубље кровне конструкције. Станвикс и Спероу (Stanwix & Sparrow 2014) истичу да се бетоном од конопље и креча углавном изолују само кровови у новоградњи, пошто многи постојећи објекти не могу да подрже додатну тежину крова од бетона од конопље и креча или немају довољно високе греде да носе материјал. Они указују да изолација крова у комбинацији са зидом и подном плочом од бетона од конопље и креча има значајне предности пошто омогућава формирање континуираног, природног и паропропусног термичког омотача. Међутим израда крова бетоном од конопље и креча може бити конструктивно и финансијски захтевна, те се препоручује комбиновање изолације од бетона од конопље и креча са другим природним изолационим материјалима попут плоча од дрвених влакана. Сlike 2.33 и 2.34 приказују типичну дрвену кровну конструкцију са испуном од бетона од конопље и креча.

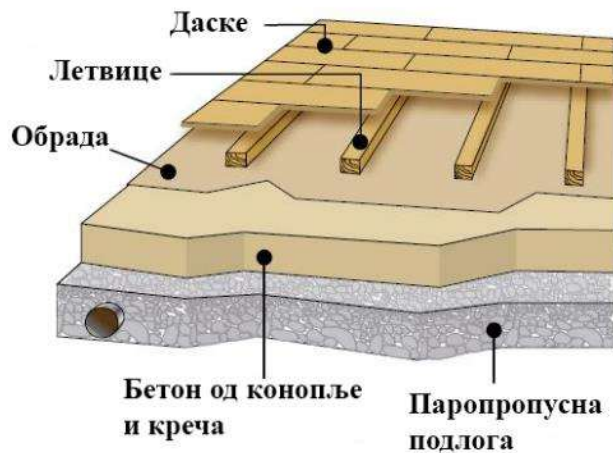


Слика 2.33. Конструкција косог крова са изолацијом од бетона од конопље и креча (Weber-Tradical n.d.b)



Слика 2.34. Коси кров са изолацијом од бетона од конопље и креча (Weber-Tradical n.d.b)

Бетон од конопље и креча може да се користи у изради паропропусних подних конструкција. При овој намени бетон од конопље и креча има лошија изолациона својства (Табела 2.5), те захтева комбиновање са додатним паропропусним изолационим материјалом. Сlike 2.35 и 2.36 приказују конструкцију пода од бетона од конопље и креча.



Слика 2.35. Конструкција пода од бетона од конопље и креча (Weber-Tradical n.d.c)



Слика 2.36. Под од бетона од конопље и креча (Weber-Tradical n.d.c)

Бетон од конопље и креча се излива на паропропусни термоизолациони агрегат попут експандиране глине или рециклиране стаклене пене и завршава паропропусном подном облогом попут даске од дрвета (Stanwix & Sparrow 2014). Пошто се вода одлива кроз термоизолациони агрегат, није потребно применити хидроизолациону мембрану. Међутим препоручује се да се плоча од бетона од конопље и креча постави изнад нивоа земље. Паропропусни подови од бетона од конопље и креча нису прикладни за примену на локалитетима где постоји потреба за заштитом од радона (Stanwix & Sparrow 2014). Примери таквих локалитета у Србији су Соко Бања и Нишка Бања. Подне плоче од бетона од конопље и креча такође нису прикладне за подручја са високим ризиком поплава или са плитким извором подземне воде.

### **3. Контекст примене бетона од конопље и креча у Србији**

У светлу актуелне бриге о исцрпљивању ресурса материјала, као и проблема отпада који заједно оптерећују савремено друштво, бетон од конопље и креча се уклапа у концепт циркуларне економије пошто користи обновљиву биолошку сировину (поздер) која је нуспордукт производње биолошке сировине (vlakно индустријске конопље) и може се рециклирати на крају животног века. Израдом „Програма развоја циркуларне економије у Републици Србији за период 2022-2024. године“ (Министарство заштите животне средине Републике Србије, МЗЖС 2022) модел циркуларне економије је идентификован као кључан оквир за одрживи развој Србије. Класична линеарна економија подразумева неодржив линеаран модел у коме се сировине извлаче, прерађују, користе и бацају на „крају животног века“ кад испуне примарну сврху. Кирхер, Рејке и Хекерт (Kirchherr, Reike & Hekkert 2017) дефинишу циркуларну економију као економски систем који циља да постигне одржив развој како би се побољшао квалитет животне средине и обезбедио економски просперитет и постигла друштвена једнакост. Они указују да циркуларна економија функционише на микро, мезо и макро нивоима и мења концепт „краја животног века“ смањивањем процеса производње, дистрибуције и потрошње кроз рециклирање, обнављање и поновно коришћење сировина. Увођење циркуларне економије зависи од нових модела пословања и вољних потрошача. У склопу циљева „Програма развоја циркуларне економије у Републици Србији за период 2022-2024. године“ указно је да су „иновације саставни део транзиције ка циркуларној економији“ (МЗЖС 2022). Производња и примена иновативних и еколошки исправних грађевинских материјала који имају мање негативан утицај на животну средину у односу на грађевинске материјале који се тренутно производе и користе у Србији, је један од малих корака ка успостављању циркуларне економије и побољшања квалитета животне средине.

#### **3.1 Контекст производње сировина за бетон од конопље и креча у Србији**

Климатски и педолошки услови у Србији су прикладни за узгој индустријске конопље, што се огледа и у богатом историјском контексту узгоја индустријске конопље у Србији. Почетком и средином XX века, као део Југославије, Србија је била један од најзначајнијих произвођача индустријске конопље у Европи. Од 1948 до 1952. године, сејано је просечно око 70000 хектара, од чега је преко 70% било у Србији (Škundrić i Kostić 2004). У другој половини XX века креће значајан пад производње на свега 60 хектара у 2015. години и сва прерађивачка постројења се затварају. Један од потенцијално отежавајућих фактора у узгоју индустријске конопље је стигма која још увек прати биљку и резултира у потреби за државном контролом узгоја. Иако индустријска конопља поседује јако мало психоактивне супстанце *THC* у односу на наркотик (0.2% према 10-15%), због велике сличности у изгледу неопходна је дозвола за узгој, што може потенцијалним узгајивачима

представљати непотребну компликацију и баријеру. У том смислу, узгој индустријске конопље у Србији регулише „Правилник о условима за гајење индустријске конопље“ (Министарство пољопривреде, шумарства и водопривреде, МПШВ 2013). Дозволу за узгој издаје Министарство пољопривреде, али је неопходно пријавити добијање дозволе Министарству унутрашњих послова (МУП), које потом надгледа узгој. Битни предуслови за узгој су доказ о основу коришћења пољопривредног земљишта и доказ о уговору за продају усева адекватном правном лицу. Иако постоји простор да правилник и закон о узгоју индустријске конопље постану либералнији, захтеви правилника су превасходно административне природе и не представљају непремостиву баријеру која онемогућава гајење

Ограничено тржиште и несигурна економска исплативост представљају основну препреку гајењу индустријске конопље. „Закон о Психоактивним контролисаним супстанцама“ (МУП 2018) дозвољава узгој индустријске конопље само за производњу влакна, семена за животињску исхрану, промета семена и даљег размножавања, прераде и испитивања квалитета семена. На тај начин се органишава пласман семена на тржишту и отежава узгој ради производње цвета који је економски највреднији део биљке пошто садржи *CBD (cannabidoil)* који има широку примену у фармацеутској и козметичкој индустрији. Недовољно дефинисана регулатива везана за производе од индустријске конопље ограничава примену индустријске конопље произведене у Србији. Упркос неуређеном тржишту, упоредо са све већим глобалним интересовањем, од 2016. године производња у Србији нагло расте. Према проценама 2019. године је посејано 800ha, док је 2020. године посејано око 1500ha (Vasić 2020). Са повећаним узгојем индустријске конопље широм света, профитабилност индустријске конопље у Србији зависи и од међународне конкурентности. Иако се могу претпоставити нижи трошкови производње него у многим земљама Западне Европе и Северне Америке, мања разноврсност доступних сорти може представљати проблем уколико најпожељније сорте нису доступне за узгој. Само шест сорти је доступно за производњу у Србији у 2021. години (МПШВ РС 2021). Ограничен сортимент може умањити конкурентност Србије на светском тржишту. Производња поздера за бетон од конопље и креча превасходно зависи од производње влакна и развоја прерађивачких погона за одвајање влакна од поздера. Производња влакна има велики економски потенцијал, али захтева значајне инвестиције тако да инфраструктура за одвајање влакна (декортикацију) тренутно није развијена у Србији (Kuzmić 2022). Чланови Националног Удружења Конопљара Србије (НАКС) поседују мању линију за декортикацију индустријске конопље и указују да је тренутна потражња поздера већа од понуде (Sekulić 2022). Слика 3.1 указује на основне потенцијалне зоне узгоја индустријске конопље у Србији. Индустријска конопље би се превасходно могла гајити на просторима где се гаје и друге ратарске културе попут пшенице или



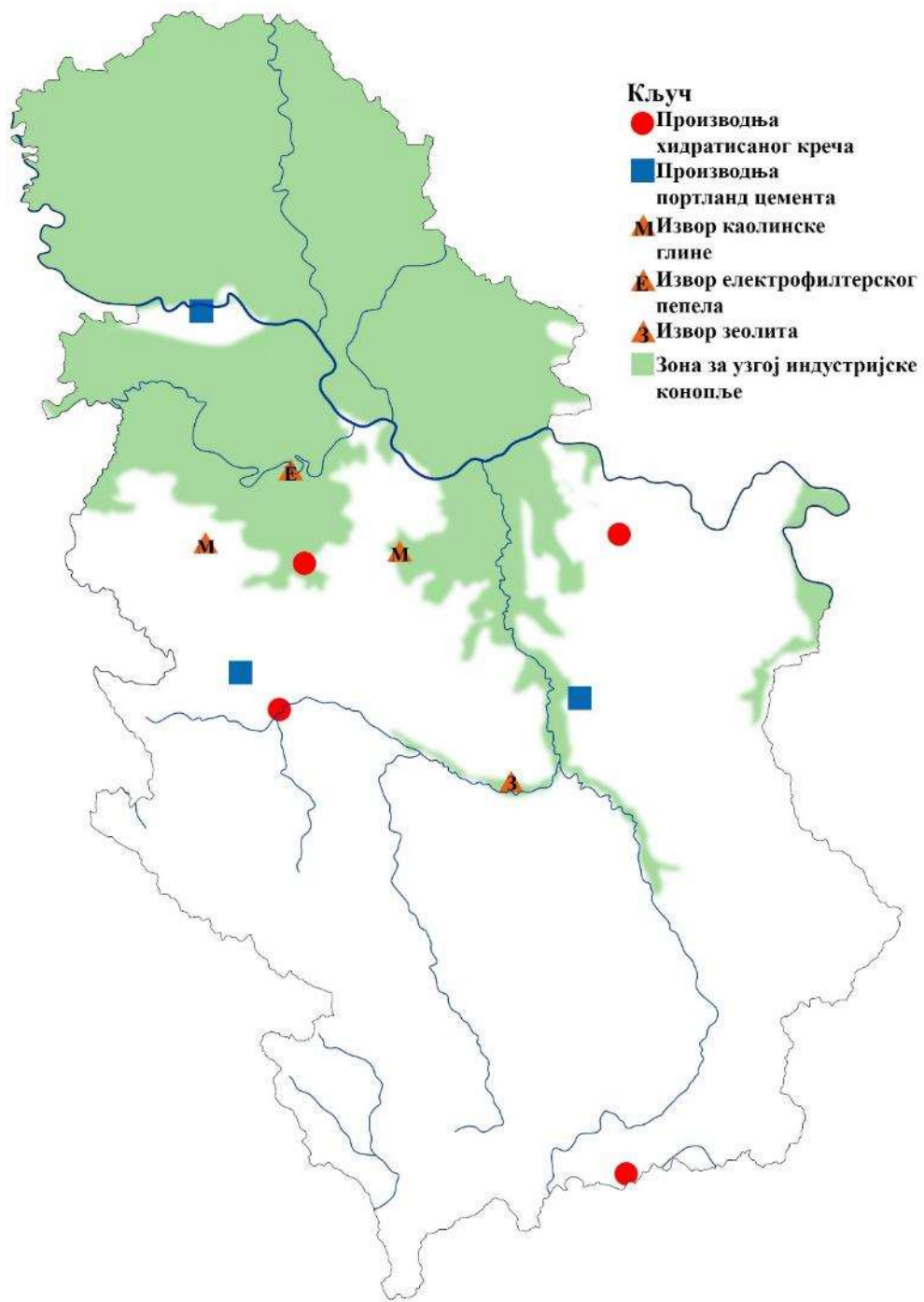
соје. Стога би узгој могао превасходно бити фокусиран на равније терене што подразумева северну Србију, делове централне западне и источне Србије и долине река у јужној Србији. Ширењем узгоја и прераде индустријске конопље ствара се потенцијал за развој и примену бетона од конопље и креча у Србији, мада поздер адекватног квалитета тренутно није широко доступан.

Комерцијално везиво *Tradical PF70* производи се у Бесансону на истоку Француске (BCV Tradical 2021), док се друго проминентно комерцијално везиво, *Batichanvre*, производи на западу Француске у месту Сан Астир (Saint-Astier 2021). Увоз ових везива у Србију би подразумевао друмски превоз од преко 1400km, те је важно испитати еколошке импликације производње везива у Србији. На основу података из Табеле 2.1 уочава се да су основни састојци везива хидратисани креч (*CL90S*), природни хидраулични креч и додатни хидраулични састојак попут пуцолана или портланд цемента. Србија обилује налазиштима кречњака попут налазишта: Стражевица-Кијево, Равнаја-Мали Зворник, Равње-Ваљево, Јелен До, Лапровитих кречњака Фрушке Горе, Сува Врела, Косјерић и Чокошће-Поповац (Делић Николић 2014). Комерцијални погони за производњу хидратисаног креча су успостављени у кречанама у Јелен долу, Ћелијама, Каони код Кучева и Прешеву. Негашени и гашени креч се такође производе у мноштву мањих приватних кречана широм Србије. Природни хидраулични креч се не производи комерцијално у Србији. Француска је најзначајнији произвођач природног хидрауличног креча у Европи, који се такође производи у многим другим европским земљама у различитим обимима. Немачка, Италија и Португалија су такође значајни произвођачи природног хидрауличног креча. Произвођачки погони за производњу портланд цемента су у Беочину, Косјерићу и Поповцу.

На основу састава везива (Табела 2.1) евидентно је да се од пуцолана најчешће примењује метакаолин. Метакаолин се не производи комерцијално у Србији. Најзначајнији произвођачи на свету су Кина, Америка и Индија, а најзначајнији произвођачи у Европи су Француска и Немачка. Постоји потенцијал за развој производње метакаолина и у Србији. Митровић, Комљеновић и Илић (2010) указују да су каолинске глине из копова Миличаница код Ваљева и Кошарна код Младеновца прикладне за производњу метакаолина. Алтеративне пуцолане попут електрофилтерског пепела и гранулисане шљаке, који настају као нуспродукт индустријске прераде, је могуће набавити од различитих индустријских произвођача. Зеолит је пуцолан кога има у лежишту Игош-Видојевићи код Бруса (Зеокор 2021), али је неиспитан у бетону од конопље од креча. Уз то би се могле користити и рециклиране сировине попут праха од опеке који је коришћен уз хидратисани креч у везиву објекта изграђеног у Хрватској (Goјkov 2022). Није могуће користити прах од сваке опеке, пошто опека добија пуцоланска својства када се глина пече на температурама од 600-900°C, а

пуцоланска активност зависи од многих физиохемијских и хемијских својстава (Navrátilová & Rovnanílková 2016). Савремена опека се генерално пече на температурама преко 1000°C, те би се преваходно могла примењивати неадекватно печена индустријска опека, традиционално печена опека или опека преузета из историјских објеката. Ипак пошто пуцоланска активност праха од опеке није униформна и зависи од многих фактора било би неопходно испитати својства праха који би се користио у везиву бетона од конопље и креча.

Хидратисани креч је основни елемент везива за бетон од конопље и креча и производи се на неколико локација у Србији и ближем региону. Ако претпоставимо да би везиво произведено у Србији репликовало основни састав комерцијалног везива *Tradical PF70* (75% хидратисани креч, 15% природни хидраулични креч и 10% пуцолани), независно од избора пуцолана, део сировина би морао да се увезе пошто се природни хидраулични креч не производи у Србији. Одређени пуцолани попут електрофилтерског пепела, гранулисане шљаке, праха од опеке или зеолита су доступни из извора у Србији. Међутим у литератури се као најприсутније пуцоланско везиво наводи метакаолин. Иако успостављање производње природног хидрауличног креча није изгледно у Србији, успостављање комерцијалне производње метакаолина је могуће. Природни хидраулични креч који се не производи у Србији би се потенцијално могао заменити алтернативним хидрауличним елементом. Портланд цемент се производи у Србији, али није нужно еколошки исправнији избор иако би раздаљине превоза били ниже у односу на увезен природни хидраулични креч. Повећани садржај пуцолана би такође потенцијално могао заменити природни хидраулични креч, али би најпре било неопходно извршити експериментална истраживања са изабраним пуцоланима из Србије. Стога, иако је теоретски могуће формулисати везиво искључиво са сировинама из Србије, за најсличније резултате комерцијалним везивима било би неопходно увести природни хидраулични креч.



Слика 3.1: Мапа потенцијалних сировина за бетон од конопље и креча (Аутор, Извор мапе: D-maps n.d.)

### 3.2 Постојећи грађевински фонд у Србији

Иако је бетон од конопље и креча нашао примену у објектима вишепородичног становања и комерцијалним, индустријским и јавним објектима, превасходно се користи за изградњу објеката ниже спратности и породичног становања. Примена бетона од конопље и креча у Србији ће се размотрити са аспекта новоградње и санације објеката породичног становања. Кључни документи за анализу постојећег грађевинског фонда у Србији су „Атлас породичних кућа Србије“ (Јовановић Поповић и др. 2011), „Национална типологија стамбених зграда Србије“ (Јовановић Поповић и др. 2013) и „Национална типологија стамбених зграда Србије грађених од 2013. године“ (Јовановић Поповић и др. 2016). Истраживања класификују и оцењују енергетске карактеристике грађевинског фонда у Србији. У „Атласу породичних кућа Србије“ (Јовановић Поповић и др. 2011) стамбени објекти су организовани према регионима и закључено је да се од 1970-тих, „може наћи готово истоветни појавни облик стамбене архитектуре у готово свим крајевима Србије. Даља истраживања типологије стамбених објеката (Јовановић Поповић и др. 2013 и Јовановић Поповић и др. 2016) рачунају и енергетску потрошњу анализираних објеката и сврставају их у енергетски разред према „Правилнику о условима, садржини и начину издавања сертификата о енергетским својствима зграда“ (МГСИ 2012). Такође излажу два нивоа унапређења за склопове термичког омотача и системе за грејање и припрему топле воде. Мере унапређења специфично циљају да смање потрошњу оперативне енергије, али уграђена енергија ових мера унапређења није разматрана.

Објекти породичног становања су бројчано најзаступљенији<sup>18</sup> тип стамбених објеката у Србији (Јовановић Поповић и др. 2016). Под објектима породичног становања подразумевају се слободностојеће породичне куће и породичне куће у низу. Највећи део стамбеног фонда је изграђен у XX веку после Другог светског рата, када се еколошка одрживост изградње није разматрала у пракси. Чак 58.6% објеката породичног становања је изграђено од 1960. до 1990 године (Јовановић

---

<sup>18</sup> 97.23% од изграђених објеката и 60.5% укупне изграђене површине. Међутим од изласка извештаја у 2016. години (Јовановић Поповић и др. 2016) може се претпоставити да се релативни однос у бројчаном уделу објеката није значајно променио, али да су се изграђене површине под објектима вишепородичног становања значајно повећале.

Поповић и др. 2016). Најстарији објекти породичног становања су примери традиционалне архитектуре изграђени у XIX веку од набоја или у бондручном конструктивном систему. Градња традиционалним грађевинским техникама и материјалима генерално престаје у првој половини XX века. Према студији „Национална типологија стамбених зграда Србије“, у тренутку њене израде, слободностојећи објекти породичног становања изграђени пре 1919. године су чинили око 5% укупног стамбеног фонда (Јовановић Поповић и др. 2013). Нажалост, многи од ових објеката су у лошем физичком стању, те се њихова санација мора првенствено посматрати са аспекта очувања градитељског наслеђа. Као паропропустан материјал, настао као замена за оронолу испуну бондручне конструкције, бетон од конопље и креча се намеће као идеалан материјал за физичку рестаурацију и енергетску санацију објеката традиционалне архитектуре.



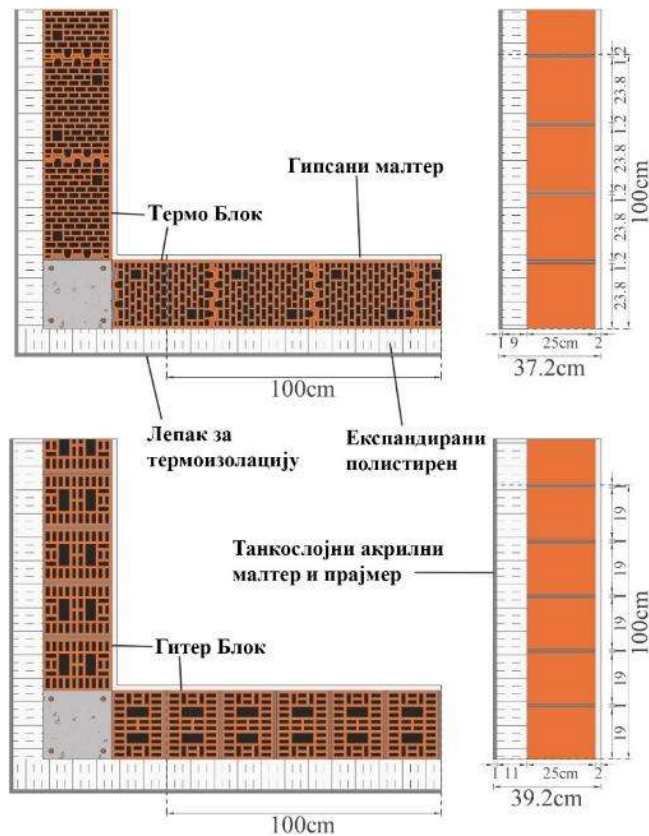
Слика 3.2: Кућа Живојина Мишића у Струганику, пример очуване полубрвнаре из XIX века (Аутор)



Слика 3.3: Традиционална кућа у оронолом стању (Republicki zavod za spomenike kulture 2006)

Највећи део постојећег стамбеног фонда породичног становања чине објекти зидани од опеке или опекарских блокова. Многи објекти грађени пре увођења „Правилника о енергетској ефикасности зграда“ 2011. године или не поседују термоизолацију или не задовољавају захтеве овог прописа. У „Националној типологији стамбених зграда Србије“ (Јовановић Поповић и др. 2013) све до периода од 1991-2012, превасходно су приказани објекти породичног становања са спољашњим зидовима од опеке. Међутим на основу примера вишепородичног становања и породичних кућа из Атласа (Јовановић Поповић и др. 2011), јасно је да су се шупљи опекарски блокови или гитер блокови користили од периода 1961-1970. Гитер блокови се и даље користе за изградњу фасадних зидова стамбених зграда, али се може аргументовати да се у тренутној стамбеној градњи све више користе термо блокови и да је то тренд који ће се наставити у будућности. Гитер блокови су јефтинији по блоку, али је потрошња термо блокова нижа по квадратном метру зида и захтева примену мање количине малтера. Типична димензија гитер блока износи 25x19x19cm и користе се за изградњу

зидова од 19cm или 25cm дебљине. Типичне дебљине термо блокова износе 20cm, 25cm, 30cm и 38cm, у пракси се за спољашње зидове најчешће користе блокови од 25cm. За изградњу квадратног метра зида од 25cm неопходно је применити 25 гитер блокова и 10.5 термо блокова. Додатна предност термо блока је нижа топлотна проводљивост у односу на гитер блок, што омогућава примену тањег слоја термоизолације за постизање истог коефицијента пролаза топлоте. У стамбеној градњи обе врсте опекарског блока се типично користе за изградњу зиданих конструкција у комбинацији са армирано бетонским серкљажима или као испуна између скелетне конструкције од армираног бетона. Иако су опекарски блокови доминантни у пракси, спољашњи зидови се такође граде од класичне опеке, бетонских блокова и поробетона. Спољашњи зидови се обрађују применом система контактне фасаде са термоизолацијом од експандираног полистирена (*EPS*) или камене вуне са танкослојним фасадним малтером. Слика 3.4 приказује основу и пресек типичних спољашњих зидова у стамбеним објектима.<sup>19</sup>



Слика 3.4. Основа и пресек типичних спољашњих зидова на стамбеним објектима у Србији

<sup>19</sup> Дебљина термоизолације је дефинисана тако да да  $1\text{m}^2$  зида од опекарских блокова са контактном фасадом (без бетонске конструкције) постигне коефицијент пролаза топлоте  $0.30\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ . Примење топлотне проводљивости материјала су: Термо блок  $0.21\text{W}/\text{mK}$  (Knauf 2012), гитер блок  $0.52\text{W}/\text{mK}$ , подужни кречни малтер  $0.99\text{W}/\text{mK}$ , експандирани полистирен  $0.041\text{W}/\text{mK}$ , гипсани малтер  $0.47\text{W}/\text{mK}$  и пигментни фасадни малтер  $0.7\text{W}/\text{mK}$  (МГСИ 2011)

У Србији се као изолациони материјал у контактним фасадама на објектима једнопородичног становања најчешће користи експандирани полистирен (*EPS*), пошто се лако обрађује и јефтинији је од камене вуне. Камена вуна има боља својства отпора на пожар од експандираног полистирена те је фаворизована у објектима веће спратности, али се експандирани полистирен и даље често користи и на објектима вишепородичног становања. Унутрашња страна зида се најчешће обрађује различитим врстама малтера на бази гипса, цемента или креча. Приликом енергетске санације постојећих објеката, основни циљ је постизање или премашивање прописаног коефицијента пролаза топлоте, заменом или додавањем термоизолације. У енергетској санацији као и у новоградњи се типично додаје систем контактне фасаде на постојећи зид од опеке или опекарских блокова.

Основни приступи у новоградњи и енергетској санацији у Србији су веома слични и превасходно теже повећању енергетске ефикасности објекта, што се најчешће спроводи применом необновљивих грађевинских материјала. Пошто је у контексту Србије извесно да оперативна енергија чини највећи део потрошене енергије током животног века објекта, овај приступ се може сматрати исправним уколико се постигне неопходна енергетска ефикасност. Стога уз ниже еколошке утицаје производње и примене, еколошки одрживи грађевински материјали треба да достигну или премаше енергетске уштеде, по функцији сличних масовно коришћених грађевинских материјала. Директним поређењем са постојећом праксом у Србији омогућено је сагледавање еколошке исправности примене бетона од конопље и креча. Основно мерило за примену бетона од конопље и креча у Србији, је способност конструктивних склопова од бетона од конопље и креча да достигну дозвољене вредности коефицијента пролаза топлоте за елементе термичког омотача зграде из „Правилника о енергетској ефикасности зграда“ (МГСИ 2011). У том контексту, примена бетона од конопље и креча се може сматрати еколошки исправном уколико су при једнакој мери топлотне заштите, еколошки утицаји примене материјала нижи у односу на типичну праксу у Србији.

### **3.3 Досадашња примена бетона од конопље и креча у Србији**

Чланови НАКС-а се баве практичном применом бетона од конопље и креча од 2015. године и организовали су неколико практичних радионица од 2019. године (Sekulić 2022). Најистакнутији пример примене бетона од конопље и креча у Србији је кућа од конопље у Жагубици на Хомољским планинама (Слика 3.5 и 3.6) завршена 2021. године. Рад на пројекту је почео 2017. године и чланови НАКС-а су учествовали у изградњи објекта. Зидови куће су изграђени *in situ* применом бетона од конопље и креча око дрвеног конструктивног система. Поздер је увезен из Румуније, а састав смеше

везива је била 70% хидратисани креч и 30% природни хидраулични креч и портланд цемент. Дебљина зидова је 350mm и само је спољашња страна обрађена.



Слика 3.5: Кућа од бетона од конопље и креча на Хомољским планинама (Milovanović 2021a)



Слика 3.6: Унутрашњост куће од бетона од конопље и креча на Хомољским планинама (Milovanović 2021b)

Физичка својства бетона од конопље и креча тренутно нису прописана у домаћој грађевинској регулативи. Пошто бетон од конопље и креча није носећи конструктивни материјал није било никаквих регулативних потешкоћа око примене материјала у објекту (Тасовас Ранковић 2022). Закон о грађевинским производима (МГСИ 2018) регулише услове за стављање грађевинских материјала на тржиште. Састојци који се користе у везиву би требали имати декларације о перформансама у складу са српским или страним техничким стандардима, док се поздер вероватно не може класификовати као грађевински производ према класификацијма у члану 3. Пошто се бетон од конопље и креча спрема на градилишту према члану 8 може бити изузет од сачињавања декларација о перформансама. У том случају одговорност за производ сноси извођач грађевинских радова. Изузеће од декларације о перформансама такође може имати и уколико се користи у сврхе очувања градитељског наслеђа. У случају формирања комерцијалног везива у Србији и паковања комплементарног поздера или производње префабрикованих блокова од конопље и креча било би неопходно извршити лабораторијска испитивања и формирати декларацију о перформансама за материјал према српским техничким стандардима.



#### **4. Животни циклус бетона од конопље и креча**

Еколошки исправан грађевински материјали има свеобухватно повољнији утицај на животну средину од релевантног материјала који испуњава исту функцију. Животни циклус грађевинских материјала утиче на животну средину на мноштво начина те постоји много параметара који могу дефинисати еколошку исправност грађевинског материјала. Еколошка исправност се може дефинисати према утицају материјала на квалитет животне средине, људско здравље, потрошњу материјалних ресурса, енергије и воде и стварање отпада. Током животног циклуса грађевинских материјала испушта се мноштво материја у ваздух, земљиште и воду што утиче на различите феномене који могу бити штетни по животну средину (глобално загревање, трошење озонског омотача итд.) и људско здравље (канцерогеност, токсичност итд.). Услед глобалне несташнице кључних ресурса, количина и извор потрошених материјалних и енергетских ресурса и воде је такође мерило еколошке исправности грађевинског материјала. Количина и тип отпада који се формира током животног века материјала и начин процесирања тог отпада утичу на еколошку исправност грађевинских материјала пошто отпад заузима земљиште и такође испушта потенцијално штетне материје у амбијент.

##### **4.1 Проблем валоризације еколошке исправности грађевинских материјала**

Кључно за свеобухватну валоризацију еколошке исправности различитих производа је прихватање концепта размишљања на нивоу животног циклуса (*Life Cycle Thinking*). Концепт животног циклуса подразумева разматрање еколошких, друштвених и економских утицаја производа током животног века, а не само током процеса производње (UNEP Life Cycle Initiative 2020). Укупни еколошки утицаји грађевинских материјала се могу сагледати кроз четири основне фазе животног века:

- **фаза производње** – подразумева екстракцију основних сировина, њихов превоз и прераду у коначни производ. У оквиру уграђене енергије грађевинских материјала, 85 – 95% проистиче из процеса њихове производње (Berge 2009). Стога је одлика еколошки исправних грађевинских материјала мање интензивна и штетна фаза производње. Ово подразумева примену широко доступних, обновљивих природних сировина или рециклираних сировина. Такође подразумева процесе производње који испуштају мање штетних материја у ваздух, воду и земљиште и не стварају много отпада;
- **фаза изградње** – подразумева превоз и уградњу производа на финалној локацији. Одлика еколошки исправног грађевинског материјала у фази имплементације, зависи од начина примене. Битно је смањити раздаљине превоза сировина, јер примена локалних материјала са мање интензивним фазама производње представља еколошки исправан поступак. Током уградње

неопходно је умањити количину отпада на градилишту, јер еколошки исправни материјали минимизирају количину коришћене амбалаже;

- **фаза коришћења** – подразумева неопходно одржавање и обнављање производа током животног века. Еколошки исправни грађевински материјали пре свега нису токсични за људе и омогућавају формирање здравих и комфорних простора. Друга битна одлика је висока издржљивост и дуг животни век, што условљава мање одржавања и ретку замену материјала током животног века ширег склопа;

- **фаза одлагања** – подразумева одлагање или рециклирање производа на крају животног века. Еколошки исправни грађевински материјали остављају мањи отисак на околину на крају свог животног века, што подразумева могућност рециклирања, поновне употребе или својство биоразградивости.

Иако се основне еколошке особине грађевинског материјала могу описати квалитативно, квантификовање еколошких утицаја омогућава проверу еколошке исправности грађевинског материјала према специфичним параметрима у датом контексту и омогућава директно поређење са другим материјалима. Еколошка исправност грађевинског материјала се може квантификовати проценом његовог животног циклуса. Процена животног циклуса представља „компилацију и процену улазних и излазних података и могућих еколошких утицаја једног производног система током животног циклуса“ (ISO 2006а). Процене животног циклуса углавном анализирају животни век производа кроз све фазе животног циклуса, али је могуће анализирати само поједине фазе. Приступ од „колевке до капије“ (*cradle to gate*) подразумева сагледавање процеса у склопу фазе производње, док приступ од „колевке до локације“ (*cradle to site*) подразумева сагледавање процеса у склопу фаза производње и изградње. Целокупни животни циклус се сагледава приступом од „колевке до гроба“ (*cradle to grave*) који подразумева фазе производње, изградње, коришћења и одлагања.

## 4.2 Методологија процене животног циклуса

Анализирајући еколошке утицаје грађевинских материјала током животног циклуса, можемо дефинисати основне особине еколошки прихватљивих грађевинских материјала. Међународни стандарди *ISO 14040* (ISO 2006a) и *ISO 14044* (ISO 2006b) дефинишу основну методологију за извођење процена животног циклуса. Процена животног циклуса се изводи кроз четири основне фазе (Слика 4.1):

- 1) Дефинисање циља и обима процене животног циклуса** - Циљ треба да дефинише намењену примену и публику за процену животног циклуса. При дефинисању обима процене, потребно је дефинисати производни систем, састављен од међуповезаних јединичних процеса. Затим је неопходно одредити функционалну јединицу, која представља референтну вредност повезану са улазним и излазним подацима као и границе система које образлажу детаљност процене животног циклуса и дефинишу јединичне процесе који ће се анализирати, као и еколошке показатеље кроз које ће се исказати резултати процене животног циклуса (ISO 2006a). Еколошки показатељи приказују утицај животног века производа на специфични феномен који утиче на квалитет животне средине (глобално загревање, еутрофикација итд.). Међународни стандарди *ISO 14040* (ISO 2006a) и *ISO 14044* (ISO 2006b), не дају препоруке око избора еколошких показатеља.
- 2) Анализа инвентара (LCI)** - Анализа инвентара се одвија према дефинисаном циљу и обиму процене животног циклуса и представља итеративан процес при коме се сакупљају и квантификују подаци везани за производни систем. Прикупљају се улазни и излазни подаци за све појединачне процесе дефинисане унутар граница система. Улазни подаци обухватају уносе енергије и сировина, док излазни подаци обухватају производе, отпад, емисије у ваздух и испуштања у земљиште и воду (ISO 2006a).
- 3) Процена еколошких утицаја (LCIA)** – Процена еколошких утицаја повезује податке из анализе инвентара са показатељима за еколошки утицај. Рачунање еколошких показатеља или карактеризација, подразумева претварање података из анализе инвентара у референтне јединице применом фактора карактеризације и сабирањем претворених резултата у исту категорију за еколошки утицај (ISO 2006a). Сваки еколошки показатељ стога добија своју специфичну нумеричку вредност еквивалентну за функционалну јединицу производа. Додатни али необавезни поступци у процени еколошких утицаја су нормализација и вредновање података. Нормализација представља поређење вредности еколошких показатеља са референтним подацима, како би се боље разумела релативна величина еколошких показатеља, док вредновање подразумева претварање резултата еколошких показатеља у одабране релативне вредности применом различитих нумеричких фактора

(ISO 2006a). Вредновање омогућава придавање различите важности специфичним еколошким показатељима, али према стандардима *ISO 14040* (ISO 2006a) и *ISO 14044* (ISO 2006b) вредновање није научни поступак пошто захтева личну вредносну процену. Стога нормализација и вредновање имају ограничену примену за формирање апсолутне оцене еколошке исправности производног система, али могу бити корисни алати за поједностављивања и контекстуализацију резултата процене животног циклуса.

**4) Интерпретација резултата** - Последња фаза процене животног циклуса подразумева интерпретацију резултата анализе инвентара и процене еколошког утицаја, што омогућава идентификацију слабости производног система и формирање предлога за његово унапређење (ISO 2006a). Неминовно је да процена животног циклуса садржи одређене претпоставке у склопу поставке те, вредност процене превасходно зависи од квалитета поставке граница система, прикупљених података и модела карактеризације. Некомплетно сагледавање јединичних процеса, примена неадекватних или некомплетних података у анализи инвентара и ограничења модела карактеризације утичу на тачност процене животног циклуса. Стога је у склопу интерпретације резултата значајно сагледати и слабости методологије процене животног циклуса, указати како су могле утицати на коначне резултате и како се могу исправити у даљим проценама.



Слика 4.1: Методологија израде процене животног циклуса (ISO 2006a)

Процена животног циклуса указује на потенцијалне, релативне, еколошке утицаје животног века грађевинског производа. Неизвесности могу настати услед неопходних претпоставки и неминовних неизвесности моделирања еколошких утицаја, просторне и временске специфичности сваке поставке, усклађивања еколошких утицаја на референтну јединицу и моделирања будућих еколошких утицаја (ISO 2006a). Ипак процена животног циклуса представља важан алат који омогућава свеобухватну анализу еколошке исправности грађевинских материјала и омогућава еколошко поређење различитих грађевинских производа, уколико су поставке и методологије комплементарне.

#### **4.3 Еколошке декларације грађевинских производа (*Environmental Product Declaration - EPD*)**

Еколошке декларације грађевинских производа „представљају квантификоване еколошке утицаје животног циклуса производа како би се омогућила поређења између производа који испуњавају исту функцију“ (ISO 2006c). Еколошке декларације су израђене по нахођењу индивидуалних произвођача и организација према методологији за процену животног циклуса из стандарда *ISO 14040* (ISO 2006a) и *ISO 14044* (ISO 2006b). Европски стандард *EN 15804* формира правила (*product category rules*) за израду еколошких декларација производа у Европи. Еколошке декларације издају оператери који опершу под окриљем организације *Eco Platform* (Eco Platform 2023) и формирају базе података еколошких декларација које могу бити међународне или повезане са специфичном европском државом. Неки од кључних оператера за издавање еколошких декларација и формирања база података су: *Institut Bauen und Umlaut* (Немачка и међународна), *International EPD System* (Шведска и међународна), *Building Research Establishment* (Велика Британија), *Inies* (Француска), *Bau EPD* (Аустрија), *EPD Norge* (Норвешка) и *EPD Italy* (Италија). У Србији тренутно не постоји организација за издавање еколошких декларација, ни база података еколошких утицаја грађевинских производа произведених у Србији.

Како би се омогућило поређење између сличних производа, еколошке декларације генерално сагледавају животни циклус од колевке до гроба. Животни циклус грађевинског производа се приказује у индивидуалним модулима који представљају основне процесе у склопу главних фаза животног циклуса: фаза производње (A1-A3), фаза изградње (A4 и A5), фаза коришћења (B1-B7) и фаза одлагања (C1-C4) (Табела 4.1). Модул Д представља предности и утицаје којим настају као резултат рециклирања или повратка енергије на крају животног века (BRE 2014).

Табела 4.1: Модули у животном веку производа према стандарду *EN 15804*

Фаза производње			Фаза изградње		Фаза коришћења							Фаза одлагања				Изван граница система
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	Ц1	Ц2	Ц3	Ц4	Д
Извлачење сировина	Превоз Сировина	Прерада сировина	Превоз материјала на локацију	Изградња/имплементација материјала	Коришћење материјала	Одржавање материјала	Поправљање материјал	Замена материјала	Обнова материјала	Оперативна потрошња енергије	Оперативна потрошња воде	Рушење	Превоз отпада	Процесуирање отпада	Одлагање отпада	Потенцијал поновног коришћења, рециклирања или повратка енергије

Еколошке декларације су исправне 5 година од датума издавања и велика већина валидних еколошких декларација је израђена према препоследњој итерацији стандарда *EN 15804* која се зове *EN 15804:2012+A1:2013* (CEN 2012). Дефинисано је седам основних еколошких показатеља које је неопходно анализирати у еколошкој декларацији грађевинског производа (Табела 4.2).

Табела 4.2: Еколошки показатељи који се процењују према стандарду *EN 15804:2012+A1:2013*

Еколошки показатељ	Јединица	<i>LCIA</i> метода	Опис
Потенцијал глобалног загревања ( <i>GWP</i> )	kgCO <sub>2</sub> eq. (100год.)	CML-IA	Емисије гасова стаклене баште се акумулирају у атмосфери и апсорбују сунчеву радијацију доводећи до повећања глобалних температура. Основне опасности глобалног загревања су опустивавање, пораст нивоа мора и повећана учесталост екстремних метеоролошких појава. Производња, примена и одлагање грађевинских материјала може утицати на емисије различитих гасова стаклене баште као што су: угљен диоксид (CO <sub>2</sub> ), хлорометан (CH <sub>3</sub> Cl), дихлорометан (CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> ) хидрофлуорокарбони (HFC), метан (CH <sub>4</sub> ) и азотсубоксид (N <sub>2</sub> O) (Berge 2009).
Потенцијал ацидификације ( <i>AP</i> )	kgSO <sub>2</sub> eq.	CML-IA	Таложeње киселина се догађа када кисели гасови попут амонијака (NH <sub>3</sub> ), азотних (NO <sub>x</sub> ) и сумпорних оксида (SO <sub>x</sub> ) реагују са кишом или водом у земљишту. Кисела киша може негативно утицати на шумске и водене екосистеме (Mundy 2015).
Потенцијал еутрофикација ( <i>EP</i> )	kgPO <sub>4</sub> eq.	CML-IA	Еутрофикација представља обогаћивање водних станишта хранљивим материјама које доприносе повећаном цветању алги на површини воде и недостатку кисеоника у води, што може довести до изумирања воденог екосистема. Емисије амонијака (NH <sub>3</sub> ), нитрата (NO <sub>3</sub> ), азотних оксида (NO <sub>x</sub> ) и фосфата (PO <sub>4</sub> ) у воду или ваздух могу допринети еутрофикацији (BRE 2008).
Потенцијал стварање фотохемијског озона ( <i>POCP</i> )	kgC <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq.	CML-IA	Фотохемијски озон („смог“) се формира када су испарљива органска једињења изложена сунчевој светлости у присуству азотних оксида (NO <sub>x</sub> ). Фотохемијски озон утиче на појаву астме и других респираторних обољења и може негативно утицати на узгој усева (BRE 2008).
Потенцијал трошење стратосферског озона ( <i>ODP</i> )	kg CFC-11 eq.	CML-IA	Озонски омотач је део стратосфере који апсорбује УВ радијацију из сунчевих зрака. Повећан пролаз УВ зрака повећава ризик од рака коже и може негативно утицати на физиологију и развојне процесе биљака. Испарљива органска једињења (VOC) попут хлорофлуороугљеника (CFC) и хидрохлорофлуороугљеника (HCFC) који испуштају халогене у стратосферу највише доприносе трошењу озонског омотача. Трошењу озонског омотача значајно доприносе оксиди азота (NO <sub>x</sub> ) (Mundy 2015).
Потенцијал трошења абиотских ресурса ( <i>ADP</i> )	kg Sb eq.	CML-IA	Трошење минералних ресурса се тиче извлачења необновљивих минерала попут метала и других минералних елемената из земљине коре. Потрошња велике количине необновљивих ресурса је неодржива, пошто умањује и онемогућава њихову примену будућим генерацијама.
Потенцијал трошења фосилних ресурса ( <i>ADPf</i> )	MJ	CML-IA	Потрошња фосилних ресурса се односи на сагоревање фосилних горива: угаљ, нафта и природни гас. Њихово сагоревање представља црпљење кључних необновљивих ресурса који се користе за производњу енергије и као сировине за неке грађевинске материјале. Значајна већина уграђене енергије у грађевинским материјалима потиче из необновљивих извора услед велике зависности од фосилних горива.

За рачунање приказаних еколошких показатеља користе се фактори карактеризације из *CML-IA* методологије (CML Department of Industrial Ecology 2016), која је развијена на Универзитету у Лајдену у Холандији. У еколошкој декларацији такође је неопходно приказати додатне еколошке податке који се тичу потрошње ресурса,<sup>20</sup> стварања отпада<sup>21</sup> и других излазних токова.<sup>22</sup> Стандард не укључује нормализацију и вредновање, те се поређења врше на основу директних вредности еколошких показатеља. *CML-IA* методологија садржи факторе за нормализацију еколошких показатеља према становнику Холандије из 1997. године, становнику Европске Уније (*EU25*) из 1995. године, становнику Европске Уније из 2000. године (*EU25+3*<sup>23</sup>) и становнику света из 2000. године. Организација *BRE* (*British Research Establishment*) је израдила факторе за вредновање еколошких показатеља из стандарда *EN 15804:2012+A1:2013* (Abbe & Hamilton 2017).

У 2019. години издата је нова верзија стандарда *EN 15804* која се зове *EN 15804:2012+A2:2019* (CEN 2019). Најзначајније измене се тичу еколошких показатеља и LCIA метода које се користе за њихово рачунање. Сматрано је да је избор показатеља из претходног стандарда био недовољно детаљан, те је проширен на 13 обавезних и 6 необавезних еколошких показатеља. Показатељи су изабрани како би се уклопили са показатељима из методологије за еколошки отисак производа (*Product Environmental Footprint, PEF*) (European Commission 2018, Zampori & Pant 2019) који је развила Европска Комисија. Табела 4.3 приказује обавезне и необавезне еколошке показатеље из стандарда *EN 15804:2012+A2:2019* (CEN 2019) и методологије процене еколошких утицаја (*LCIA*) које користе.

---

<sup>20</sup> Потрошња обновљиве енергије (PERE, MJ), потрошња обновљивих сировина (PERM, MJ), укупна потрошња обновљивих ресурса (PERT, MJ), потошња необновљивих енергетских ресурса за стварање примарне енергије (PENRE, MJ), потрошња необновљивих енергетских ресурса за сировине (PENRM, MJ), укупна потрошња необновљивих енергетских ресурса (PENRT, MJ), потрошња секундарног материјала (RS, kg), потрошња обновљивих секундарних горива (RSF, MJ), потрошња необновљивих секундарних горива (NRSF, MJ), нето потрошња воде (W, m<sup>3</sup>)

<sup>21</sup> Стварање опасног отпада (HWD, kg), стварање безопасног отпада (NHWD, kg), стварање радиоактивног отпада (RWD, kg)

<sup>22</sup> Компоненте за поновно коришћење (CRU, kg), материјали за рециклирање (MFR, kg), материјали за повраћај енергије (MER, kg), извоз енергије (EE, MJ)

<sup>23</sup> 25 чланица Европске Уније са Норвешком, Исландом и Швајцарском



Табела 4.3: Еколошки показатељи који се процењују према *PEF* и стандарду *EN 15804:2012+A2:2019* (Zampori & Pant 2019)

Еколошки показатељ	Јединица	<i>LCIA</i> метода
Климатске промене – укупно ( <i>GWP total</i> )	kgCO <sub>2</sub> eq. (100год.)	<i>IPCC 2013</i>
Климатске промене – Фосилно ( <i>GWP fossil</i> )		
Климатске промене – биогено ( <i>GWP biogenic</i> )		
Климатске промене – коришћење и промена земљишта ( <i>GWP LULUC</i> )		
Трошење стратосферског озона ( <i>ODP</i> )	kg CFC-11 eq.	<i>WMO/UNEP 2014</i>
Ацидификација ( <i>AP</i> )	mol H <sup>+</sup> eq.	<i>Accumulated exceedance</i>
Еутрофикација – слатка вода ( <i>EP terrestrial</i> )	mol N eq.	
Еутрофикација – слана вода ( <i>EP marine</i> )	mol N eq.	
Еутрофикација – земљиште ( <i>EP freshwater</i> )	mol P eq.	<i>EURTREND model/ Recipe 2008</i>
Стварање фотохемијског озона ( <i>POCP</i> )	kg NVMOC eq.	<i>LOTOS-EUROS/ Recipe 2008</i>
Трошење абиотских ресурса ( <i>ADP</i> )	kg Sb eq.	CML-IA
Трошење фосилних ресурса ( <i>ADPf</i> )	MJ	
Потрошња/депривација воде ( <i>Water deprivation potential</i> )	m <sup>3</sup>	<i>AWARE</i>
Необавезни		
Инциденција респираторних болести услед партикулата	Инциденција	<i>PM method</i>
Јонизијуће зрачење, утицај на људско здравље	kBq U235 eq.	<i>Human health effect model</i>
Еко-токсичност, свежа вода	CTuh	<i>USEtox</i>
Токсичност према људима, карциногеност		
Токсичност према људима, остала обољења		
Утицаји коришћења земљишта, квалитет земљишта	/	<i>Soil Quality Index</i>

Показатељи за климатске промене и еутрофикацију се детаљније дефинишу са четири, односно три еколошка показатеља. Постаје неопходно декларисати биогене (*GWPbiogenic*) емисије гасова стаклене баште услед детериорације биомасе и везивање угљен диоксида услед фотосинтезе и приказати их одвојено од емисија које настају као резултат трансформације фосилних горива

(*GWP<sub>fossil</sub>*). Такође постаје пожељно указати на емисије гасова стаклене баште које настају као резултат промена у залихама угљеника услед коришћења и промена у коришћењу земљишта (*GWP<sub>pluc</sub>*). *Еутрофикација* се такође дели према утицајима на индивидуалне природне средине (свежа вода, слана вода и земљиште). Показатељи за стварање фотохемијског озона и трошење стратосферског озона се рачунају различитим *LCIA* методама и једино показатељи за трошење минералних и фосилних ресурса користе *CML-IA* методологију. Додатни показатељи који нису присутни у стандарду *EN 15804:2012+A1:2013*, се генерално тичу токсичности и утицаја на људско здравље, али и доступности и потрошње воде. *AWARE* методологија за мерење депривације воде указује колико је воде доступно у вододелници након што су потребе људи и екосистема намирене (WULCA 2021). Овај показатељ се разликује од додатног параметра за потрошњу воде из *EN 15804:2012+A1:2013*, који се само тиче нето потрошње воде и није карактеризован. Сви додатни еколошки подаци који се тичу потрошње ресурса, стварања отпада и других излазних токова су неопходни и у новој верзији стандарда. Постојеће еколошке декларације су валидне до краја петогодишњег периода важења и *EN 15804:2012+A2:2019* постаје обавезан од 2022. године (One Click LCA 2021), тако да је велика већина активних еколошких декларација израђено према *15804:2012+A1:2013*.

#### **4.4 Анализа постојећих истраживања о животном циклусу бетона од конопље и креча**

Анализом и поређењем постојећих процена животног циклуса бетона од конопље и креча, стиче се свеобухватно разумевање животног века овог материјала. Иако разлике у поставкама онемогућују директна квантитативна поређење резултата, поређењем циљева, обима и анализе инвентара постојећих истраживања, формира се теоретска основа за развој методологије за процену животног циклуса бетона од конопље и креча у Србији. Анализираће се циљ и обим као и анализа инвентара 14 примарних постојећих истраживања.

##### **4.4.1 Циљ и обим постојећих процена животног циклуса бетона од конопље и креча**

Постојеће процене животног циклуса бетона од конопље и креча се могу дефинисати као извештаји, објављена научна истраживања и комерцијалне еколошке декларације. Анализирана истраживања су приказана у Табели 4.4 која пружа информације о типу истраживања, просторном контексту, циљу истраживања и коришћеним стандардима.

Табела 4.4: Циљ и обим постојећих истраживања о животном циклусу бетона од конопље и креча

Истраживање	Тип истраживања	Просторни контекст	Циљ истраживања	Коришћени стандарди
“ <i>Etude des caractéristiques environnementales du chanvre par l’analyse de son cycle de vie</i> ” (Boutin et al. 2006)	Научно истраживање	Француска	Изворно истраживање које је финансирало Француско министарство за пољопривреду и рибарство (MAP) у сарадњи са произвођачима индустријске конопље. Истраживање је извео Национални пољопривредни истраживачки институт (INRA). Циљ истраживања је био да анализира животни циклус бетона од конопље и креча и квантификује његове перципиране еколошке предности, ради промовисања примене индустријске конопље у грађевинским материјалима.	ISO 14040, ISO 14044, Француски стандард NF P 01-010
“ <i>Life cycle greenhouse gas emissions of hemp-lime wall constructions in the UK</i> ” (Ip & Miller 2012)	Научно истраживање	Велика Британија	Да се у контексту Велике Британије дефинише утицај изградње функционалне јединице зида од бетона од конопље и креча на емисије гасова стаклене баште.	ISO 14040, ISO 14044, PAS2050
“ <i>Examination of the Environmental Characteristics of a banked Hempcrete Wall on a Wooden Skeleton, by Lifecycle Analysis: Feedback on the LCA Experiment from 2005</i> ” (Boutin & Flamin 2013)	Резиме научног истраживања	Француска	Рекапитулација и додатна анализа оригиналног истраживања из 2006. године (Boutin et al. 2006).	ISO 14040, ISO 14044, Француски стандард NF P 01-010
“ <i>Building materials in the operational phase: Impacts of Direct Carbon Exchanges and Hygrothermal Effects</i> ” (Nordby & Shea 2013)	Научно истраживање	Није дефинисан	Да се применом методологије процене животног циклуса сагледа како примена грађевинских материјала може имати позитиван еколошки утицај на уграђену и оперативну енергију објекта.	BS EN ISO 6946:1997, BREEAM NOR
“ <i>Life cycle assessment of a hemp concrete wall: impact of thickness and coating</i> ” (Pretot, Collet & Garnier 2014)	Научно истраживање	Француска	Израда процене животног циклуса за прскани зид од бетона од конопље и креча са анализама осетљивости које сагледавају еколошки утицај дебљине зида, типа обраде и броја обнова обраде.	ISO 14040, ISO 14044, Француски стандард NF P 01-010
“ <i>Life cycle assessment of natural building materials: the role of carbonation, mixture components and transport in the environmental impacts of hempcrete blocks</i> ” (Arrigoni et al. 2017)	Научно истраживање	Италија	Процена животног циклуса зида од блокова од индустријске конопље и креча у контексту Италије.	ISO 14040, ISO 14044

“ <i>A life-cycle energy and carbon analysis of hemp-lime bio-composite building materials</i> ” (Florentin et al. 2017)	Научно истраживање	Израел	Компаративна анализа утицаја примене бетона од конопље и креч и поробетона на емисије гасова стаклене баште и енергетску потрошњу објекта у оперативној фази.	ISO 14040, ISO 14044, IFIAS Level II
“ <i>Lime and hemp concrete LCA: A dynamic approach of GHG emissions and capture</i> ” (Lecompte, Levasseur & Maxime 2017)	Научно истраживање	Француска	Процена животног циклуса бетона од конопље и креча, сагледавајући како варијације у припреми и примени материјала утичу на емисије и везивање гасова стаклене баште.	Није поменуто
“ <i>Comparative life cycle assessment of magnesium binders as an alternative for hemp concrete</i> ” (Sinka et al. 2018)	Научно истраживање	Летонија	Анализа еколошког утицаја примене различитих везива на бази магнезијума и креча при изради бетона од конопље и креча и њихово поређење са типичним везивима.	ISO 14040, ISO 14044
“ <i>Isohemp hempcrete blocks: Life cycle assessment EN 15804+A1 (2014) Project report</i> ” (Léonard & Gros Lambert 2018)	Еколошка декларација (EPD)	Белгија	Израда еколошке декларације за <i>Isohemp</i> блокове од бетона од конопље и креча, произведене у Белгији.	ISO 14040, ISO 14044, ISO 14025, EN 15804+A1
“ <i>Fiche de declaration environnementale et sanitaire: 1m<sup>3</sup> de béton de chanvre pour remplissage et isolation de mur ou cloison</i> ” (EVEA 2018)	Еколошка декларација (EPD)	Француска	Израда еколошке декларације за примену бетона од конопље и креча, на основу просечних података добијених од 6 француских произвођача конопље и 5 произвођача везива.	ISO 14040, ISO14044, ISO 14025, EN 15804+A1,
“ <i>Declaration environnementale et sanitaire: Bloc de béton de chanvre BIOSYS®</i> ” (Sié 2018)	Еколошка декларација (EPD)	Француска	Израда еколошког декларације за <i>BIOSYS®</i> блокове од бетона од конопље и креча, произведене у Француској.	ISO 14040, ISO 14044, ISO 14025, EN 15804+A1
“ <i>On the theoretical carbon storage and carbon sequestration potential of hempcrete</i> ” (Arehart, Nelson & Srubar III 2020)	Научно истраживање	Није дефинисан	Развој математичког модела за квантификацију карбонатизације и анализа утицаја примене различитих везива на емисије гасова стаклене баште током животног века бетона од конопље и креча.	ISO 14040, ISO 14044
“ <i>Declaration environnementale de produit: ISOHEMP PAL36 - Bloc de béton de chanvre</i> ” (Léonard & Gros Lambert 2021)	Еколошка декларација (EPD)	Белгија	Ревизија еколошке декларације за <i>Isohemp</i> блокове од бетона од конопље и креча, користећи нове еколошке показатеље прописане новим стандардом.	ISO 14040, ISO 14044, ISO 14025, EN 15804+A2

Истраживања су превасходно смештена у Европи, са највећим бројем у контексту Француске. Само једно истраживање је смештено ван европског географског подручја (Florentin et al. 2017), али и у том случају сировине за израду бетона од конопље и креча су увезене из Француске.

Свеобухватни циљ свих анализираних истраживања је да, према специфичностима контекста и дефинисаних граница система, квантификују еколошке утицаје који настају током животног века бетона од конопље и креча. Истраживања генерално прате методологију за процену животног циклуса дефинисану у стандардима *ISO 14040* и *14044*. Анализирани су и три еколошке декларације које прате стандард *EN 15804:2012+A1:2013* (Léonard & Gros Lambert 2018, EVEA 2018 и Sié 2018) и једна која прати ревизију *15804:2012+A2:2019* (Léonard & Gros Lambert 2021). И у истраживањима где ови стандарди нису директно поменути (Nordby & Shea 2013 и Lecompte, Levasseur & Maxime 2017), може се претпоставити да су испраћена основна начела ових међународних стандарда. Поред *ISO* стандарда нека истраживања се такође ослањају на домаће еколошке стандарде, мада је Француски стандард *NF P 01-010* у пракси замењен стандардом *EN 15804*.

Сва истраживања анализирају животни циклус функционалних јединица у виду зидова од бетона од конопље и креча или животни циклус запремине материјала која би се користила за изградњу зидова. У Табели 4.5 приказана су својства основних функционалних јединица (ФЈ) у анализираним истраживањима. Табела приказује димензије, животни век, начин израде и основна термичка својства функционалне јединице као и садржај и димензије конструктивног система од дрвета у функционалној јединици.

Табела 4.5: Својства функционалних јединица дефинисаних у постојећим истраживањима процене животног циклуса бетона од конопље и креча

Анализирано истраживање	ФЈ	Животни век (година)	Начин израде	Густина (kg/m <sup>3</sup> )	Дебљина (+обрада) (cm)	λ (W/mK)	U (W/m <sup>2</sup> K)	Структурни систем од дрвета (д x ш) (cm)
Boutin et al. 2006; Boutin & Flamin 2013	1m <sup>2</sup>	100	Прскање	330	26	0.118	0.42	Два стуба од дрвета 15 x 5
Ip & Miller 2012	1m <sup>2</sup>	100	Ручна испуна	275	30	0.06	0.19	Два стуба од дрвета 10 x 5
Nordby & Shea 2013	1m <sup>2</sup>	60	/	480	n+520+0 <sup>24</sup>	0.09	0.18	Два стуба од дрвета 22.5 x 3.6
Pretot, Collet & Garnier 2014	1m <sup>2</sup>	100	Прскање	/	2+24+1	/	0.36	Два стуба од дрвета 20 x 20
Arrigoni et al. 2017	1m <sup>2</sup>	100	Блок	330	25	0.07	0.27	Не садржи
Florentin et al. 2017	1m <sup>2</sup>	50	Ручна испуна	450	2+22+0	0.11	0.45	Не садржи
Lecompte, Levasseur & Maxime 2017	1m <sup>2</sup>	70	Прскање	/	n+380+n <sup>25</sup>	0.075	0.20	Два стуба од дрвета 15 x 15
Sinka et al. 2018	1m <sup>2</sup>	100	Ручна испуна	322.6	41.5	0.075	0.18	Два стуба од дрвета 150 x 50
Léonard & Gros Lambert 2018 <sup>26</sup>	1m <sup>3</sup>	100	Блок	340	/	0.072	/	Не садржи
EVEA 2018	1m <sup>3</sup>	100	Прскање	/	/	0.09	/	Не садржи
Sié 2018	1m <sup>2</sup>	100	Блок	302.5	30	0.071	0.24	Не садржи
Arehart, Nelson & Srubar III 2020	1m <sup>2</sup>	60 - 100	Прскање	300	310	0.085	0.27	Не садржи
Léonard & Gros Lambert 2021	1m <sup>2</sup>	60	Блок	340	360	0.071	0.197	Не садржи

<sup>24</sup> Дебљина малтера није декларисана

<sup>25</sup> Дебљина малтера није декларисана

<sup>26</sup> Студије су обележене пошто анализирају функционалну јединицу од 1m<sup>3</sup> уместо 1m<sup>2</sup>

Истраживања превасходно дефинишу функционалну јединицу као 1m<sup>2</sup> зида од бетона од конопље и креча. Разлике су присутне код две еколошке декларације (Leonard & Gros Lambert 2018 и EVEA 2018), пошто се не анализира специфични зид већ 1m<sup>3</sup> материјала. Већина истраживања дефинише животни век од 100 година. Флорентин и др. (Florentin et al. 2017) разматрају животни век од 50 година, пошто је то просечан животни век објекта у Израелу. Нордби и Шеј (Nordby & Shea 2013) и Лемкомт, Левасур и Максим (Lecompte, Levasseur & Maxime 2017), дефинишу животни век од 60, односно 70 година без специфичног образложења. Иако су објекти изграђени од бетона од конопље млађи од 30 година, претпоставља се да конструкције од бетона од конопље и креча могу имати једнак животни век као конвенционалне зидне конструкције (Boutin & Flamin 2006 и Ip & Miller 2012). Леонар и Гросламбер (Léonard & Gros Lambert 2021) дефинишу животни век од 60 година према стандарду белгијског оператера за еколошке декларације, али указују да би бетон од конопље и креча требао да има животни век до 150 година, односно да траје колико и цео објекат. Комерцијални произвођачи рекламирају животни век од 100 и више година (Tradical 2016b). Везиво у потпуности прекрива поздер и ствара алкалну средину која би требало да штити материјал од биодетериорације и напада штеточина.

Међутим постоје микроорганизми који расту и у алкалним условима, а *pH* везива може пасти услед карбонатизације (Walker, Pavia & Mitchell 2014, Marceau et al. 2018). Узорци бетона од конопље и креча су чувани на 30°C и релативној влажности од 80% седам месеци и инокулирани микроорганизмима више пута.<sup>27</sup> Узорци нису доживели физичку детериорацију иако су више пута инокулирани и влажени, пошто микроорганизми нису могли да се развију (Walker, Pavia & Mitchell 2014). У другом истраживању (Marceau et al. 2018) развој плесни није био уочљив у узорцима који су били подвргнути убрзаном старењу кроз 8 циклуса влажења и сушења преко 75 дана,<sup>28</sup> али јесте у узорцима у којима је *pH* пао испод 10 и који су држани неколико месеци под условима од 30°C и релативне влажности од 98%. Обука и др. (Obuka et al. 2021) приказују сличне резултате. Након 45 дана под условима од 20°C и релативној влажности од 99%, инокулирани узорци бетона од конопље и креча нису имали трагове микроорганизама.<sup>29</sup> Међутим узорци са 50% мање везива, који су имали *pH* испод 9, су имали видљив површински развој плесни. После четири месеца са варијабилном релативном влажности од 75-99%, у првобитним узорцима примећени су само микроскопски трагови микроорганизама. Резултати истраживања указују да дужи екстремни услови и директна инокулација материјала могу да резултују развојем плесни које временом могу довести до

---

<sup>27</sup> Гљиве *Aspergillus* и *Penicillium* и бактериум *Bacillus* (Walker, Pavia & Mitchell 2014)

<sup>28</sup> 30°C и РВ 40-90% до 98%

<sup>29</sup> Однос поздер: везива 1:2.5, pH12



превремене биодетериорације, али да микроорганизми нису могли да се развијају у условима који рефлектују природну средину у којима материјал може да се влажи и суши. Указано је да бетон од конопље и креча може да издржи 10 (Walker, Pavia & Mitchell 2014), односно 25 (Strandberg de Bruijn et al. 2009) циклуса смрзавања и одмрзавања без физичког пуцања и значајног негативног утицаја на притисну чврстоћу материјала. Сви експерименти су вршени на необрађеном бетону од конопље и креча. У пракси, зид од бетона од конопље и креча захтева обраду која додатно штити материјал од претераног влажења, продора микроорганизама, хемијског напада и смрзавања. Резултати постојећих истраживања и искуства из праксе тренутно не оповргавају претпоставку да материјал, уколико је правилно израђен и обрађен, може имати животни век од 60 до 150 година.

У анализираним истраживањима се уочавају значајне разлике у физичким својствима и конструкцијама функционалних јединица. Разлике се огледају у димензијама и начину израде зида од бетона од конопље креча, присуству/одсуству конструктивног система од дрвета, односно површинске обраде од малтера. Велика варијабилност при изради материјала је исказана кроз значајне варијације у густини и тоplotној проводљивости. Конструктивни систем од дрвета није присутан код функционалних јединица које су израђене од блокова, ни код функционалних јединица које су дефинисане као  $1\text{m}^3$  материјала. У истраживању Флорентин и др. (Florentin et al. 2017), конструктивни систем од дрвета није узет у обзир пошто је функционална јединица изграђена у склопу стамбеног објекта са конструктивним системом од армираног бетона. Међутим у пракси би било неопходно применити секундарни конструктивни систем од дрвета или применити материјал у форми блокова, услед веће раздаљине између бетонских стубова. Површинска обрада није узета у обзир или је недовољно дефинисана у већини истраживања, што се може сматрати недостатком, пошто спољашња површина зида од бетона од конопље и креча захтева обраду у пракси. На основу анализе функционалних јединица у постојећим истраживањима дефинисано је да основна функционална јединица у спроведеном истраживању представља  $1\text{m}^2$  зида од бетона од конопље и креча са животним веком од 100 година.

Табела 4.6 приказује анализе осетљивости и анализиране еколошке показатеље из приказаних истраживања. Анализе осетљивости испитују осетљивост модела на промене, то јест утврђују на који начин варирање специфичног уноса у модел утиче на коначан резултат.

Табела 4.6: Параметри који се анализирају у постојећим проценама животног циклуса бетона од конопље и креча

Анализирано истраживање	Анализе осетљивости	Еколошки показатељи
Boutin et al. 2006; Boutin & Flamin 2013	Нема	Показатељи из <i>EN 15804:2012+A1:2013</i> (Табела 4.2) (осим еутрофикације (kg PO <sub>4eq.</sub> )) и: -Загађење ваздуха (m <sup>3</sup> ) -Загађење воде (m <sup>3</sup> ) -Одлагање отпада (kg)
Ip & Miller 2012	-Утицај примене спољашње и унутрашње обраде -Утицај дебљине зида -Утицај раздаљине превоза сировина	-Климатске промене (kg CO <sub>2eq.</sub> )(100 год.)
Nordby & Shea 2013	- Утицај дебљине зида	-Климатске промене (kg CO <sub>2eq.</sub> )(100 год.)
Pretot, Collet & Garnier 2014	-Утицај дебљине зида -Утицај броја обнова спољашње и унутрашње обраде -Утицај типа спољашње и унутрашње обраде	Показатељи из <i>EN 15804:2012+A1:2013</i> (Табела 4.2) (осим трошења стратосферског озона (kg CFC-11 eq.)) и: -Загађење ваздуха (m <sup>3</sup> ) -Загађење воде (m <sup>3</sup> ) -Потрошња воде (m <sup>3</sup> )
Arrigoni et al. 2017	-Утицај некомплетне карбонатизације -Утицај састава везива -Утицај раздаљине превоза -Утицај односа поздера и везива	Показатељи из <i>EN 15804:2012+A1:2013</i>
Florentin et al. 2017	Нема	-Климатске промене (kg CO <sub>2eq.</sub> )(100 год.) -Потрошња необновљиве енергије (MJ)
Lecompte, Levasseur & Maxime 2017	-Утицај начина израде зида	-Климатске промене (kg CO <sub>2eq.</sub> )(100 год.)
Sinka et al. 2018	-Утицај састава везива -Утицај дебљине зида	Показатељи из <i>EN 15804:2012+A1:2013</i> (Табела 4.2) и: -Токсичност свеже воде -Токсичност слане воде -Токсичност земљишта
Léonard & Gros Lambert 2018	Нема	Показатељи из <i>EN 15804:2012+A1:2013</i> (Табела 4.2)
EVEA 2018		
Sié 2018		
Arehart, Nelson & Srubar III 2020	-Утицај састава везива	-Климатске промене (kg CO <sub>2eq.</sub> )(100 год.)
Léonard & Gros Lambert 2021	Нема	Показатељи из <i>EN 15804:2012+A2:2019</i> (Табела 4.3)

Евидентно је да већина научних истраживања врши неку врсту анализе осетљивости. Додатне анализе осетљивости имају за циљ да анализирају еколошки утицај варијација у склопу животног циклуса бетона од конопље и креча. Анализе осетљивости имају шири значај за разумевање животног циклуса бетона од конопље и креча, пошто указују на генералне принципе који могу бити

релевантни при примени бетона од конопље и креча у различитим контекстима и указују на еколошки утицај специфичних сегмената животног века или производног система. Анализирају се утицаји дебљине и густине зида, типа везива, односа везива и поздера, типа малтера и његових обнова и раздаљине превоза материјала. Најчешће су у питању анализе варијације дебљине и густине зида, које утичу на количину поздера и везива у функционалној јединици. Анализе осетљивости које анализирају утицаје спољашњих и унутрашњих обрада зида су присутне у само два истраживања (Ip & Miller 2012 и Pretot, Collet & Garnier 2014). Анализе осетљивости нису присутне у еколошким декларацијама (Léonard & Gros Lambert 2018, EVEA 2018, Sié 2018 и Léonard & Gros Lambert 2021), пошто су везане за специфичан производ. Сагледава се да анализе осетљивости анализирају широк спектар варијабила, али да су неке варијабиле везане за потпуно обрађен зид од бетона од конопље и креча, попут типа и броја обнова, релативно неистражене. Такође се не испитују еколошки утицаји варијација фактора везивања CO<sub>2</sub> фотосинтезом поздера и карбонатизацијом везива, утицаји формирања варијабилних количина грађевинског отпада током изградње и утицаји различитих обима деградације материјала на крају животног века. Еколошки утицај префабрикације у односу на *in situ* примену такође није директно испитан. Уочено је да су анализе осетљивости значајан алат за анализу еколошке исправности примене бетона од конопље и креча и да постоје многи параметри у животном циклусу бетона од конопље и креча чији је еколошки утицај недовољно истражен.

Једини еколошки показатељ који је присутан у свим истраживањима, је показатељ за потенцијал глобалног загревања (*GWP*). Четири истраживања (Ip & Miller 2012, Nordby & Shea 2013, Lecompte, Levasseur & Maxime 2017 и Arehart, Nelson & Srubar III 2020) анализирају само показатељ за потенцијал глобалног загревања (*GWP*), што указује на перцепцију да су емисије гасова стаклене баште најбитнији параметар за валоризовање еколошке исправности грађевинских материјала. У осталим истраживањима најприсутнији су показатељи дефинисани у стандарду *EN 15804:2012+A1:2013*: потенцијал ацидификације (*AP*), еутрофикације (*EP*), стварање фотохемијског озона (*POCP*), трошење стратосферског озона (*ODP*), трошења минералних ресурса (*ADP*) и трошења фосилних ресурса (*ADPf*). Углавном су примењени *CML-IA* фактори карактеризације. Француски стандард *NF P 01-010* је базиран на *CML-IA* факторима карактеризације, док Синка и др. (Sinka et al. 2018) такође примењују *CML-IA* методологију за све показатеље. Ип и Милер (Ip & Miller 2012) и Леконт, Левасур и Максим (Lecompte, Levasseur & Maxime 2017) користе *IPCC* модел за климатске промене, док Нордби и Шеј (Nordby & Shea 2013) указују на изворе података, али не дефинишу методологију карактеризације. Леонар и Гросламбер (Léonard & Gros Lambert 2021) у ревизији еколошке декларације анализирају показатеље из стандарда

*EN 15804:2013+A1:2019*, те користе више методологија карактеризације и *CML-IA* методологију за само два еколошка показатеља. Уочено је да је неопходно анализирати додатне еколошке показатеље уз потенцијал глобалног загревања (GWP), како би се у спроведеном истраживању стекла шира сазнања о еколошким утицајима примене бетона од конопље и креча.

Иако већина истраживања анализира сличне показатеље, значајне разлике у поставкама онемогућавају или отежавају директна поређења њихових резултата. Може се аргументовати да се поређење може донекле успоставити само између еколошких декларација, пошто прате дефинисану методологију из стандарда *EN 15804*. Међутим разлике у дефинисаним функционалним јединицама отежавају или онемогућавају и њихово поређење. Истраживања описују границе система у различитим обимима, те је тешко дефинисати све процесе који су укључени или искључени, али се неке опште границе могу дефинисати. Табела 4.7 приказује границе система анализираних истраживања према фазама животног циклуса и модулима дефинисаним у стандарду *EN 15804*.

Табела 4.7: Границе система у постојећим проценама животног циклуса бетона од конопље и креча

Извор	Фаза производње			Фаза изградње		Фаза коришћења							Фаза одлагања			
	A1	A2	A3	A4	A5	Б1	Б2	Б3	Б4	Б5	Б6	Б7	Ц1	Ц2	Ц3	Ц4
	Извлачење сировина	Превоз Сировина	Прерада сировина	Превоз материјала на локацију	Изградња/имплементација ФЈ	Коришћење ФЈ	Одржавање ФЈ	Поправљање ФЈ	Замена ФЈ	Обнова ФЈ	Оперативна потрошња енергије	Оперативна потрошња воде	Рушење ФЈ	Превоз отпада	Процесуирање отпада	Одлагање отпада
Boutin et al. 2006; Boutin & Flamin 2013	Да	Да	Да	Да	Да	Да	/	/	/	/	/	/	/	Да	/	/
Ip & Miller 2012	Да	Да	Да	Да	Да	Да	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Nordby & Shea 2013	Да	Да	Да	Да	Да	Да	/	/	/	/	Да	/	/	/	/	/
Pretot, Collet & Garnier 2014	Да	Да	Да	Да	Да	Да	/	/	/	Да	/	/	/	Да	/	/
Arrigoni et al. 2017	Да	Да	Да	Да	Да	Да	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Florentin et al. 2017	Да	Да	Да	Да	Да	Да	/	/	/	/	Да	/	/	/	/	/
Lecompte, Levasseur & Maxime 2017	Да	Да	Да	Да	Да	Да	/	/	/	Да	/	/	/	Да	/	/
Sinka et al. 2018	Да	Да	Да	Да	Да	Да	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Léonard & Gros Lambert 2018	Да	Да	Да	Да	Да	Да	/	/	/	/	/	/	/	Да	/	Да
EVEA 2018	Да	Да	Да	Да	Да	Да	/	/	/	/	/	/	Да	Да	Да	Да
Sié 2018	Да	Да	Да	Да	Да	Да	/	/	/	/	/	/	Да	Да	/	Да
Arehart, Nelson & Srubar III 2020	Да	Да	Да	/	/	Да	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Léonard & Gros Lambert 2021	Да	Да	Да	Да	Да	Да	/	/	/	/	/	/	Да	Да	Да	Да

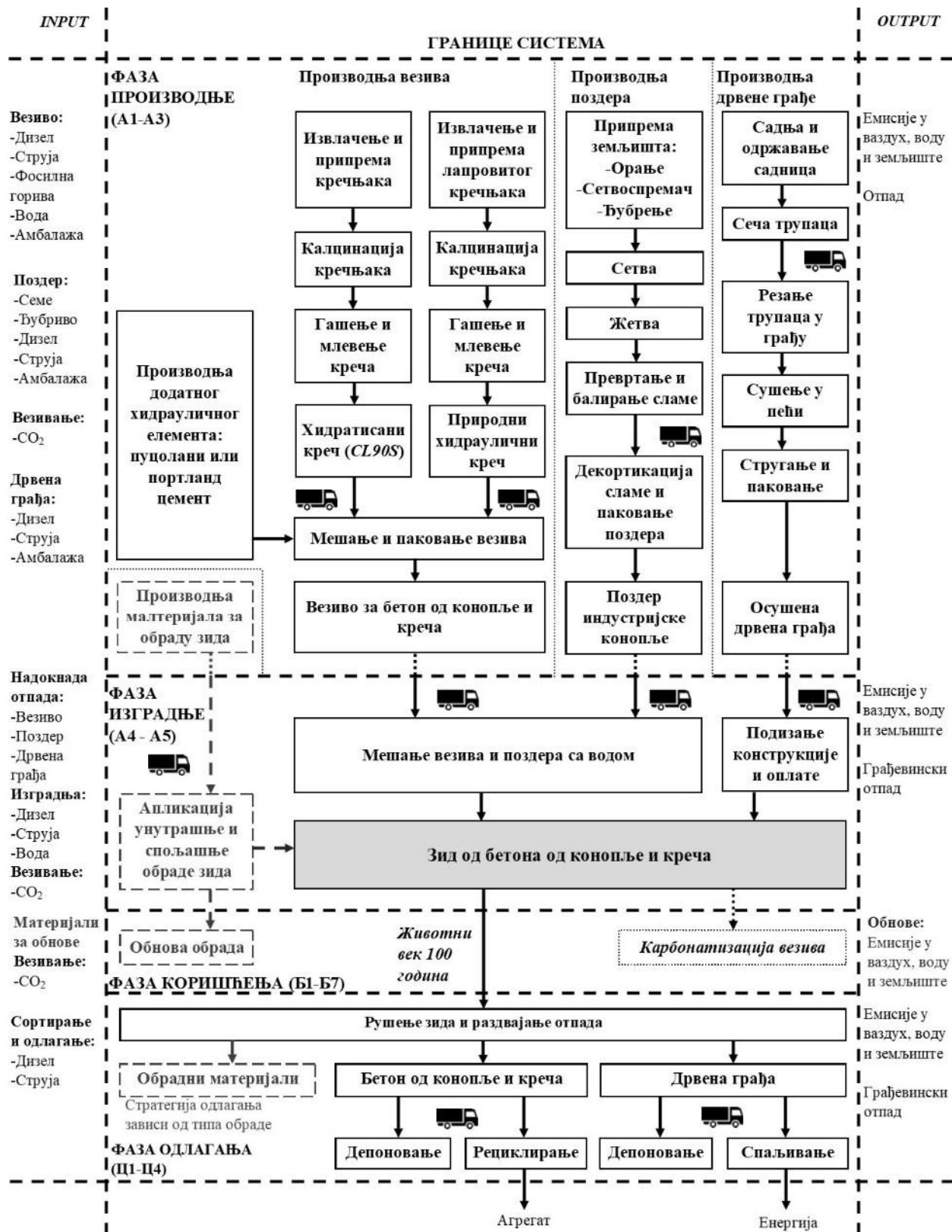
Анализирана истраживања укључују све сегменте фазе производње (А1-А3) и сем једног (Arehart, Nelson & Srubar III 2020) укључују све сегменте фазе изградње (А4 и А5). Ерхарт, Нелсон и Срубар (Arehart, Nelson & Srubar III 2020) не укључују превоз сировина и изградњу функционалне јединице пошто се фокусирају на анализе осетљивости које анализирају утицај карбонатизације и сматрају да су превоз и изградња идентични за све сценарије. Њихово истраживање стога има ограничену вредност као индикатор потенцијалних емисија гасова стаклене баште током животног века зида од бетона од конопље и креча. Фаза производње укључује производњу свих сировина неопходних за израду функционалне јединице. Опште варијације настају према структури функционалне јединице, услед присуства или одсуства структурног система и производње малтера за обраде или формирања блокова. Фаза изградње генерално укључује превоз сировина на локацију израде зида и струју за мешање и израду зида. Код функционалних јединица од блокова од бетона од конопље и креча, малтер за слагање блокова се производи у фази изградње, а не у фази производње (Arrigoni et al. 2017, Léonard & Gros Lambert 2018, Léonard & Gros Lambert 2021). Током фазе коришћења сва истраживања подразумевају карбонатизацију везива (модул Б1). Сва истраживања сматрају да није неопходно поправљати или одржавати зид од бетона од конопље и креча, али се подразумевају обнове завршне обраде у истраживањима где је површина зида малтерисана (Pretot, Collet & Garnier 2014 и Lecompte, Levasseur & Maxime 2017). Фокус већине истраживања је уграђена енергија. Утицај бетона од конопље и креча на оперативну енергију објекта у фази коришћења је анализиран у два истраживања (Nordby & Shea 2013 и Florentin et al. 2017).

Пошто објекти од бетона од конопље и креча још нису достигли крај животног века, постоји елемент неизвесности у фази одлагања. Стога многа истраживања нису ни узела фазу одлагања у обзир. Еколошке декларације (Léonard & Gros Lambert 2018, EVEA 2018, Sié 2018 и Léonard & Gros Lambert 2021), детаљније разматрају фазу одлагања и анализирају утицај додатних процеса попут рушења објекта, лагеровања отпада и разградње органске материје. Ип и Милер (Ip & Miller 2012) указују да постоји могућност да се бетон од конопље и креча на крају животног века користи као агрегат за блокове или регулатор  $pH$  вредности земљишта. Ове опције нису још увек детаљно испитане у пракси, па се крај животног циклуса бетона од конопље и креча у истраживањима генерално завршава превозом и одлагањем на депонију. Модул Д који се тиче рециклирања, поновне употребе и повраћаја енергије је само узет у обзир у последњој еколошкој декларацији (Léonard & Gros Lambert 2021). Уочава се да истраживања генерално дају добар увид у животи век зида од бетона од конопље и креча до завршетка процеса изградње (*cradle to site*), али да недостатак обраде у већини истраживања и неизвесност у фази одлагања отежавају процену еколошких утицаја од колевке до гроба.

Иако разлике у границама система, искључују директна квантитативна поређења, комплементарне поставке и циљеви истраживања омогућавају квалитативна поређења и идентификацију неких квантитативних поставки/трендова. Даљом анализом и поређењем анализе инвентара стиче се увид у процесе и вредности примењене у границама система и формира теоретски овор за анализу инвентара у процени животног века зида од бетона од конопље и креча у Србији.

#### **4.4.2 Анализа инвентара постојећих процена животног циклуса бетона од конопље и креча**

Како би се у потпуности сагледао и упоредио приступ приказаних истраживања у фази анализе инвентара, неопходно је разумети целокупни производни систем зида од бетона од конопље и креча. Типичан животно циклус зида од бетона од конопље и креча је приказан на Слици 4.2.



Слика 4.2: Животни циклус зида од бетона од конопље и креча



#### 4.4.3 Фаза производње (A1-A3)

Фаза производње производа подразумева извлачење сировина (A1), превоз сировина на прераду (A2) и прераду сировина (A3). Производња сировина за зид од бетона од конопље и креча генерално подразумева производњу и прераду индустријске конопље, везива на бази креча и дрвене грађе. У случају префабрикације фаза производње укључује и процес формирања блокова.

##### 4.4.3.1 Производња поздера индустријске конопље

Производња поздера индустријске конопље укључује агрономске процесе узгоја и индустријске процесе прераде биљке. Табела 4.8 приказује вредности кључних уноса за производњу поздера индустријске конопље у анализираним истраживањима. Пошто истраживања описују анализу инвентара у различитим мерама, сви подаци нису познати за сва истраживања. Приказани су просторно порекло поздера и раздаљина превоза поздера од фарме до прерађивачког погона. Уз то се наводе уноси семена индустријске конопље и ђубрива према основним хранљивим материјама.<sup>30</sup> Приказан је и принос сламе индустријске конопље као и проценат еколошких утицаја производње сламе који је алоциран, то јест додељен производњи поздера. Коначно, приказане су емисије гасова стаклене баште за производњу килограма поздера и фактор везивања CO<sub>2</sub> по килограму поздера.

---

<sup>30</sup> (N) Азот, (P) фосфор и (K) калијум.

Табела 4.8: Анализа инвентара производње поздера у постојећим проценама животног циклуса бетона од конопље и креча

Анализирано истраживање	Порекло поздера и превоз од фарме до фабрике	Семе (kg/ha)	Принос сламе (t/ha)	Алокација еколошких утицаја (удео поздера у производњи сламе)	Ћубрење (kg/ha)			Емисије гасова стаклене баште (kg CO <sub>2eq</sub> /kg поздера)	Везивање гасова стаклене баште (kg CO <sub>2eq</sub> /kg поздера)
					N	P	K		
Boutin et al. 2006; Boutin & Flamin 2013	Француска 100 km	/	7.75	Маса 60% Економска 32%	69	49	21	0.254	1.7
Ip & Miller 2012	Велика Британија 37 km	50	7.5	Маса 52%	93	100	125	0.192	1.527
Nordby & Shea 2013	Норвешка	/	/	/	/	/	/	/	1.8
Pretot, Collet & Garnier 2014	Француска	/	8	Маса 60%	/	/	/	/	1.7
Arrigoni et al. 2017	Италија	/	15	Маса 75%	/	/	/	0.104	1.84
Florentin et al. 2017	Француска	/	/	/	/	/	/	0.085	1.8
Lecompte, Levasseur & Maxime 2017	Француска	45	8.6	Економска 32%	107	85	119	/	1.53
Sinka et al. 2018	Летонија 40km	50	16.5	Економска /	80	70	147	/	1.84
Léonard & Gros Lambert 2018	Француска 100km	/	7.75	Економска 32%	69	49	21	/	1.6
EVEA 2018	Француска	/	5.07	/	/	/	/	/	/
Sié 2018	Француска	/	/	/	/	/	/	/	/
Arehart, Nelson & Srubar III 2020	/	/	/	/	/	/	/	0.104	1.84
Léonard & Gros Lambert 2021	Француска 100km	/	/	Маса 50%	/	/	/	/	1.517

Већина истраживања која користе поздер из Француске у анализи инвентара примењују просечне приносе у Француској у опсегу од 7.5t до 8.6t, док Ариђони и др. (Arrigoni et al. 2017) и Синка и др. (Sinka et al. 2018), подразумевају специфичне сорте са значајно већим приносом по хектару.

Најнижи пријављен принос се користи у еколошкој декларацији за бетон од конопље и креча у Француској (EVEA 2018), где се у принципу примењују ниже процењене вредности преузете од различитих произвођача бетона од конопље и креча. Већи принос сламе индустријске конопље умањује еколошки утицај производње килограма поздера, те сорта и начин узгоја утичу на свеобухватни еколошки утицај производње поздера. Индустријска конопља је једногодишња биљка која се гаји због влакана из коре, семена или цвета и није превасходно оријентисена према грађевинском сектору. Стога се еколошки утицаји при узгоју индустријске конопље углавном расподељују на проценат утицаја влакана, поздера и прашине (Pretot, Collet & Garnier 2014). Расподелу је могуће направити према маси, пошто поздер има најзначајнији удео у маси сламе индустријске конопље. Истраживања додељују поздеру различиту масу (50% до 75%) и тиме различиту количину придружених еколошких утицаја. Такође је могуће расподелити еколошке утицаје према економским факторима, пошто влакно представља економски вреднији и пожељнији производ. У том контексту производња поздера индустријске конопље има мањи еколошки утицај (32% до 40%). Уочено је да утицај варијабилности приноса индустријске конопље није испитан у постојећим истраживањима, а да може утицати на еколошке утицаје производње поздера.

Производња семена представља првобитни унос у производњи индустријске конопље. Анализирана истраживања немају доследан однос према процесу производње семена. Бутан и др. (Boutin et al. 2006) и Прето. Коле и Гарније (Pretot, Collet & Garnier 2014) указују да нису узели производњу семена у обзир, пошто сматрају да има маргиналан утицај на животни циклус. Ип и Милер (Ip & Miller 2012), Леком, Левасур и Максим (Lecompte, Levasseur & Maxime 2017) и Синка и др. (Sinka et al. 2018) укључују производњу семена у границе система, али није разјашњено да ли процес производње семена представља и циклус узгоја усева или само процес прераде и паковања већ прикупљеног семена. Ип и Милер (Ip & Miller 2012) и Синка и др. (Sinka et al. 2018) примењују 50kg семена по хектару, што представља стандардну вредност за усев индустријске конопље који се гаји за влакно (NSsеме n.d.). Међутим остала истраживања не помињу производњу семена, те се може претпоставити да за већину истраживања животни циклус бетона од конопље и креча почиње припремом земљишта за сетву.

Неопходни агрономски процеси пред сетву су орање земљишта и уситњавање сетвоспремачем. Ђубрење се генерално одвија након сетве, али могуће је применити део ђубрива и пре сетве након иницијалног орања. Примена ђубрива и гориво за пољопривредне и превозне машине су главни улазни подаци за узгој индустријске конопље. Индустријска конопља захтева прихрану азотом (N), фосфором (P) и калијумом (K). Бутан и др. (Boutin et al. 2006) и последично Леонар и Гросламбер

(Léonard & Gros Lambert 2018), подразумевају примену најмање количине ђубрива, превасходно зато што узимају у обзир изливање хранљивих материја у земљиште након узгоја које остају за прихрану следеће културе. Хранљиве материје које остају у земљишту су одузете од примењених количина ђубрива, те 105kg азота се рачуна као 69kg, 55kg фосфора као 49kg и 81kg калијума као 21kg. Остала истраживања не узимају у обзир повраћај минерала или не описују режим прихране. Процес ђубрења подразумева производњу ђубрива, превоз на њиву и примену уз помоћ тракторског распршивача. Индустриска конопља не захтева примену пестицида и додатно наводњавање. Као резултат ђубрења испуштају се амонијак ( $\text{NH}_3$ ) и азотни субоксид ( $\text{N}_2\text{O}$ ) у ваздух, а нитрати ( $\text{NO}_3$ ) и фосфати ( $\text{PO}_4$ ) у водене системе (Pretot, Collet & Garnier 2014). Нитрати ( $\text{NO}_3$ ) и фосфати ( $\text{PO}_4$ ) доприносе загађењу воде и значајно утичу на еутрофикацију. Ипак Ван дер Верф (van der Werf 2004) указује да индустриска конопља генерално захтева мање уносе у поређењу са многим другим прехранбеним и индустриским усевама. Табела 4.9 приказује типичне уносе ђубрива, пестицида, семена и дизела за индустриску конопљу и друге усеве.

Табела 4.9: Уноси по хектару за производњу индустриске конопље и других прехранбених и индустриских усева (Van der Werf 2004)

Унос (kg/ha)	Индустриска конопља	Сунцокрет	Уљана Репица	Грашак	Пшеница	Кукуруз	Кромпир	Шећерна репа
Амонијум нитрит	75	85	110	0	130	100	170	220
Суперфосфат	38	32	41	46	64	51	80	101
Калијум хлорид	113	21	30	95	90	30	293	180
Пестицид	0	1	2.9	3.2	2.9	3.5	5.5	3.7
Семе	55	5	2.5	200	120	20	2000	2.5
Дизел	65	79	81	87	101	91	165	137
Механизација	16.4	23	23.3	26.9	28.7	21.3	29.0	34.2

При узгоју индустриске конопље за производњу влакна жетва се може извести са различитим тракторским косама или косачицима. Након жетве биљке остају на њиви ради разлагања. Покошене биљке се равномерно распоређују на њиви како би се деловањем влаге и температуре покренуо рад микроорганизама који покрећу деградацију биљке и започињу процес раздвајања поздера и влакна. Овај процес генерално траје бар две недеље и неопходно је пар пута преврнути сламу превртачем. Након адекватног разлагања слама се балира. Главни унос током агрономских процеса је дизел за механизацију. Укупни уноси дизела по хектару индустриске конопље нису приказани у већини истраживања. Једино Ип и Милер (Ip & Miller 2012) пријављују потрошњу од 65.9 литара дизела по хектару, што се подудара са истраживањем ван дер Верфа и Турунен (van der Werf & Turunen 2008). Де Беус и Пјотровски (de Beus & Piotrowski 2017) дефинишу потрошњу дизела од 68.92 до 80.47kg/ha

за сценарије искључивог узгоја сламе. Велики распон вредности за потрошњу горива је очекиван, пошто зависи од великог броја фактора попут густине сејања, режима ђубрења, броја агрономских процеса, коначног приноса и генералне ефикасности примењених машина.

Балирана слама индустријске конопље се превози камионом до прерађивачког погона. Прерада индустријске конопље подразумева одвајање влакна од поздера и отклањање прашине из оба производа. Процес прераде почиње сечом и отварањем бала сламе. Слама се спроводи кроз декортикатор по принципу млина чекићара,<sup>31</sup> који раздваја поздер и прашину од влакна. Поздер се скупља у бубањ са ситом, где се даље раздваја од прашине (Amaducci & Gusovius 2010). Прашина генерално чини око 15% сламе по маси (Pretot, Collet & Garnier 2014). Прашина се сматра отпадом прерађивачког процеса, али постоји потенцијал за њену примену у брикетима за сагоревање (Ip & Miller 2012). Међутим, анализирана истраживања не узимају у обзир ни еколошке утицаје асоциране са производњом прашине као отпада, нити потенцијалне енергетске повраћаје уколико нађе примену као биолошко гориво. Де Беус и Пјотровски (de Beus & Piotrowski 2017) указују да просечан велики погон за прераду индустријске конопље може да преради 4 тоне сламе по сату и има потрошњу од 300kWh струје и 1.6 литре дизела. Они дефинишу типичну потрошњу од 90.1kWh по тони сламе (300kWh, 3330t). У другим истраживањима се помињу вредности од 79kWh по тони сламе (Boutin et al. 2006, Léonard & Gros Lambert 2018) и 112kWh по тони сламе (van der Werf & Turunen 2007, Sinka et al. 2018). Након прочишћавања, поздер се пакује у полиетиленске џакове и складишти или превози до дистрибутера. Евидентно је да постоје значајне разлике укупне емисије гасова стаклене баште за производњу килограма поздера. Вредности варијају од 0.085kgCO<sub>2eq</sub> (Florentin et al. 2017) до 0.254 (Boutin et al. 2006). Много фактора може утицати на ове варијације, пошто се производња поздера састоји од великог броја међуповезаних процеса, који варирају према датом контексту.

Везивање CO<sub>2</sub> је последњи кључни параметар који је неопходно узети у обзир код производње поздера индустријске конопље. Уочено је да не постоји универзална вредност која се примењује у свим истраживањима. Количина везаног CO<sub>2</sub> се може утврдити на основу садржаја угљеника у поздеру, применом формуле (7) (Boutin et al. 2006):

---

<sup>31</sup> Машина за раздвајање влакна и поздера

$$Q_{CO_2} = (SM \cdot PSM) \cdot (MM_{CO_2} / MM_C) \quad (7)$$

где су:

$Q_{CO_2}$ : количина везаног угљен диоксида за конституисање дате масе суве материје

SM: маса суве материја (g)

PSM: однос угљеника у сувој материји (%)

$MM_{CO_2}$ : моларна маса угљен диоксида (44 g/mol)

$MM_C$ : моларна маса угљеника (12 g/mol)

На основу садржаја угљеника од 45.9% (односно 0.459), Бутан и др. (Boutin et al. 2006) изналазе да килограм суве материје индустријске конопље веже 1.7 килограма угљен диоксида из атмосфере. Максимална вредност од 1.84 kgCO<sub>2eq</sub> по килограму поздера (Nordby & Shea 2013, Arrigoni et al. 2017, Florentin et al. 2017, Sinka et al. 2018, Nelson & Srubar III 2020), се добија уколико се претпостави да је целокупна маса поздера сува материја и садржај угљеника од 50% суве материје. Ип и Милер (Ip & Miller 2012) преузимају вредност од 1.84 kgCO<sub>2eq</sub> по килограму поздера из литературе (Bevan & Woolley 2008), али је смањују на 1.527 kgCO<sub>2eq</sub> по килограму поздера применом фактора из Британског стандарда *PAS 2050* (BSI 2011). Једино Леком, Левасур и Максим (Lecompte, Levasseur & Maxime 2017) и Леонар и Гросламбер (Léonard & Gros Lambert 2021) долазе до својих вредности узимајући у обзир садржај влаге у поздеру. Евидентно је да индустријска конопља веже значајно више CO<sub>2</sub> из атмосфере током узгоја него што се испусти приликом производње поздера. Производња поздера индустријске конопље има негативан биланс емисије гасова стаклене баште што је значајно за еколошку исправност бетона од конопље и креча. Међутим варијације које се јављају за количину везаног угљен диоксида по килограму индустријске конопље, додатно отежавају квантификацију еколошке исправности бетона од конопље и креча, пошто је могуће преценити количину везаног угљен диоксида.

Сосерд и Адамовиц (Sausserde & Adamovics 2013) указују да садржај угљеника у поздеру зависи од сорте индустријске конопље и услова узгоја пошто су за истих 10 сорти индустријске конопље пронашли садржај угљеника у распону од 41.62-45.38% и 41.33-43.94% у две узастопне године. Табела 4.10 приказује измерене вредности садржаја угљеника у поздеру индустријске конопље у литератури и очекиване факторе везивања CO<sub>2</sub> израчунате применом формуле (7). Према међулабораторијском експерименталном истраживању (Amziane et al. 2017), дефинисан је садржај влаге од 11%.

Табела 4.10: Очекивани фактори везивања CO<sub>2</sub> према измереном садржају угљеника и садржају влаге у поздеру

Истраживање	Садржај угљеника (%)	Фактор везивања CO <sub>2</sub> (kgCO <sub>2eq</sub> /kg поздера)	
		0% влаге	11% влаге
Sausserde & Adamovics 2013	41.62 – 45.38	1.526 – 1.664	1.358 – 1.481
	41.33 – 43.94	1.515 – 1.611	1.349 – 1.434
Brazdausks et al. 2015	47.40	1.738	1.547
Diakit� et al. 2021	45.5	1.668	1.485
Marrot et al. 2022	45.6	1.672	1.488
Mongiovi et al. 2021	45.86	1.682	1.497
Просечна вредност	44.37	1.627	1.448

На основу резултата из Табеле 4.10 се уочава да су многа истраживања (Boutin et al. 2006, Nordby & Shea 2013, Pretot, Collet & Garnier 2014, Arrigoni et al. 2017, Florentin et al. 2017, Sinka et al. 2018, Nelson & Srubar III 2020) вероватно преценила количину CO<sub>2</sub> везану у поздеру. Може се закључити да варијабилност у садржају угљеника, услед специфичности сорте и услова узгоја, отежава тачну процену везаног CO<sub>2</sub> и уноси даљу неизвесност у процес процене животног циклуса бетона од конопље и креча. Стога је дефинисано да је фактор везивања CO<sub>2</sub> индустријске конопље један од кључних параметара у животном циклусу бетона од конопље и креча који је неопходно испитати кроз анализу осетљивости.

#### 4.4.3.2 Производња везива за бетон од конопље и креча

Истраживања описују, али генерално не анализирају индивидуалне процесе у производном систему везива, већ се ослањају на готове податке за индивидуалне сировине које добијају од произвођача и удружења произвођача, или преузимају из база података и других научних истраживања. Везива углавном садрже хидратисани креч и један или више хидрауличних елемената попут хидрауличног креча, портланд цемента и пуцолана. Табела 4.11 приказује порекло и састав везива из анализираних истраживања. Од нумеричких података интересантно је сагледати емисије гасова стаклене баште, како би се могле упоредити са вредностима за карбонатизацију у фази коришћења.

Табела 4.11: Својства везива у постојећим проценама животног циклуса бетона од конопље и креча

Анализирано истраживање	Порекло	Састав везива				Емисије гасова стаклене баште (kg CO <sub>2eq</sub> /kg везива)
		Хидратисани креч (%)	Хидраулични креч (%)	Пуцолани (%)	Портланд цемент (%)	
Boutin et al. 2006; Boutin & Flamin 2013	Шпанија	75	15	10	/	0.605
Ip & Miller 2012	Велика Британија	75	15	10	/	0.704
Nordby & Shea 2013	/	/	/	/	/	0.19
Pretot, Collet & Garnier 2014	Шпанија	75	15	10	/	0.778
Arrigoni et al. 2017	Италија	Доломитски креч 80	/	/	20	/
Florentin et al. 2017	Француска	/	/	/	/	1.43
Lecompte, Levasseur & Maxime 2017	Француска, за прскање	/	70	25 + 5 (адитиви)		0.818
	Француска, за ручну испуну	75	15	10		0.835
Sinka et al. 2018	Пољска	70	20	/	10	/
Leonard & Gros Lambert 2018	Француска и Белгија	40	60	/	/	0.738
EVEA 2018	Француска	/	/	/	/	/
Sié 2018	Француска	/	/	/	/	/
Arehart, Nelson & Srubar III 2020	/	80	20	/	/	1.087
	/	75	/	/	25	1.128
	/	60	/	40	/	0.888
Léonard & Gros Lambert 2021	Француска и Белгија	40	60	/	/	/

Ни састав везива ни емисије гасове стаклене баште по килограму везива нису познати за сва истраживања. Више истраживања анализира неколико типова везива (Arrigoni et al. 2017, Lecompte,



Levasseur & Maxime 2017, Sinka et al. 2018 и Arehart, Nelson & Srubar III 2020), али вредности за додатна везива су приказана само за истраживања која квантификују емисије гасова стаклене баште. Уочава се да може постојати значајна разлика у односима састојака између везива која се примењују *in situ* и везива која се примењују код префабрикованих елемената (Arrigoni et al. 2017 и Leonard & Gros Lambert 2018). Најчешће се примењује комерцијално везиво по принципу *Tradical PF70*, које се састоји од хидратисаног креча (75%), хидрауличног креча (15%) и пуцолана (10%). Међутим постоји значајна варијација у приказаним емисијама гасова стаклене баште од 0.605 до 0.835kgCO<sub>2eq</sub>. Постоје изражене разлике у емисији гасова стаклене баште у односу на истраживања у којима састав везива није детаљно наведен (Nordby & Shea 2013 и Florentin et al. 2017). Пошто Флорентин и др. (Florentin et al. 2017) увозе комерцијално везиво из Француске, није јасно зашто постоји толико изражена разлика у емисијама стаклене баште. Нордби и Шеј (Nordby & Shea 2013) примењују вредност за кречни малтер, која није адекватна, пошто се кречни малтер по саставу значајно разликује од везива за бетон од конопље и креча. Подаци из Табеле 4.11 указују да је тешко правити директна квантитативна поређења између истраживања услед неједнаког приказа прикупљених података. Било би значајно када би се израдила званична еколошка декларација за специфично комерцијално везиво попут *Tradical PF70*, која би могла да се користи као контролна вредност за истраживања процене животног циклуса.

#### **4.4.3.3 Производња дрвене грађе**

Производња дрвене грађе за конструктивн систем је често део животног циклуса зида од бетона од конопље и креча. Као и за производњу везива, истраживања генерално само описују производни систем структурног дрвета. Производња дрвене грађе укључује одржавање шуме, сечу и превоз стабла у пилану као и резање, сушење и стругање. Табела 4.12 приказује која од анализираних истраживања разматрају конструкцију од дрвета, количину дрвене грађе и факторе емисије и везивања гасова стаклене баште при производњи 1kg дрвене грађе.

Табела 4.12: Анализа инвентара дрвене грађе у постојећим проценама животног циклуса бетона од конопље и креча

Научно истраживање	Присуство конструкције од дрвета	Порекло	Количина (kg)	Емисије гасова стаклене баште (kg CO <sub>2eq</sub> /kg дрвета)	Везивање гасова стаклене баште (kg CO <sub>2eq</sub> /kg дрвета)
Boutin et al. 2006; Boutin & Flamin 2013	Да	Француска	5.8	/	1.8
Ip & Miller 2012	Да	Енглеска	4.6	0.213	1.81
Nordby & Shea 2013	Да	Норвешка	/	/	1.8
Pretot, Collet & Garnier 2014	Да	Француска	20	/	1.79
Arrigoni et al. 2017	Не	/	/	/	/
Florentin et al. 2017	Не	/	/	/	/
Lecompte, Levasseur & Maxime 2017	Да	Француска	15	0.297	1.72
Sinka et al. 2018	Да	Летонија	/	/	/
Leonard & Gros Lambert 2018	Не	/	/	/	/
EVEA 2018	Не	/	/	/	/
Sié 2018	Не	/	/	/	/
Arehart, Nelson & Srubar III 2020	Не	/	/	/	/
Léonard & Gros Lambert 2021	Не	/	/	/	/

У свим истраживањима где је дрво део функционалне јединице користи се меко дрво из локалних извора. Већина истраживања указује да килограм дрвета везује око 1.8kgCO<sub>2eq</sub>, што указује на око 49% угљеника у дрвету. Леком, Левасур и Максим (Lecompte, Levasseur & Maxime 2017) подразумевају нижи садржај угљеника (47%) и према томе указују на нешто нижи степен везивања угљен диоксида. Ниједно истраживање не узима у обзир садржај влаге у дрвету, чак ни Леком, Левасур и Максим (Lecompte, Levasseur & Maxime 2017), иако су то учинили за поздер индустријске конопље. Према томе, могуће је да су приказане вредности за везивање CO<sub>2</sub> пренаглашене. Ипак сагледава се да дрво веже значајно више гасова стаклене баште током раста, него што се испусти приликом прераде у дрвену грађу.

#### **4.4.3.4 Производња блокова**

У случају примене блокова од бетона од конопље и креча, процеси префабрикације и паковања блокова се одвијају у склопу фазе производње. Поздер и везиво се превозе до погона за производњу блокова и пролазе кроз производну линију. Поздер и везиво се преносе на тракама и мешају заједно са водом. Смеша се затим преноси траком у пресу где се формирају блокови и преносе даље на сушење и лагеровање. Према истраживању Ариђони и др. (Arrigoni et al. 2017), неопходно је 4.3 kWh струје за производњу 1m<sup>3</sup> блокова бетона од конопље и креча, док је према еколошкој декларацији за “*Isohemp*” блокове неопходно 6kWh (Leonard & Gros Lambert 2018). Ова разлика се може приписати разликама у производним погонима.

#### **4.4.4 Фаза изградње (A4 и A5)**

Фаза имплементације у истраживањима укључује превоз сировина до локације (A4) и изградњу функционалне јединице (A5). Табела 4.13 приказује садржај функционалних јединица у анализираним истраживањима, раздаљине превоза сировина на локацију изградње и потрошњу струје за мешање или прскање материјала.

Табела 4.13: Састав функционалних јединица и анализа инвентара за фазу изградње у постојећим проценама животног циклуса бетона од конопље и креча

Научно истраживање	Поздер		Везиво		Вода (kg)	Однос поздера, везива и воде	Остало		Струја за мешање
	Маса (kg)	Превоз до лок. (km)	Маса (kg)	Превоз до лок. (km)			Маса (kg)	Превоз до лок. (km)	
Boutin et al. 2006; Boutin & Flamin 2013	24.8	290	54.5	920	37.2	1:2.2:1.5	Дрво 5.5	80	1.5kWh / 5.77 kWh/m <sup>3</sup>
Ip & Miller 2012	30	100	50	100	75	1:1.7:2.5	Дрво 4.6	100	1.2kWh / 4kWh/m <sup>3</sup>
Nordby & Shea 2013	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Pretot, Collet & Garnier 2014	20.4	300	45	800	67	1:2.2:3.3	Дрво 20 Малтер 13.5 + 6.7	Дрво 80 Малтер /	/
Arrigoni et al. 2017	31.4	100	44.5	100	58.6	1:1.3:1.9	Малтер 4.25	/	/
Florentin et al. 2017	/	3150	/	3150	/	/	/	/	/
Lecompte, Levasseur & Maxime 2017 (Прскањем)	42.2	50-500	69.5	500	53.2	1:1.6:1.3	Дрво 15 Малтер /		1.9kWh / 5kWh/m <sup>3</sup>
Lecompte, Levasseur & Maxime 2017 (Ручно)	42	50-500	70.1	500	105	1:1.7:2.5	Дрво 15 Малтер /		1.68kWh / 4kWh/m <sup>3</sup>
Sinka et al. 2018	52.1	200	75.8	1000	103	1:1.5:2	Дрво /	50	1.66kWh / 4kWh/m <sup>3</sup>
Leonard & Gros Lambert 2018	100	125	180	125	250	1:1.9:2.5	Малтер 38.7	125	/
EVEA 2018	105	380	253	352	324	1:2.4:3.1	/	/	
Sié 2018	/	158		158			/	/	0.015 kWh
Arehart, Nelson & Srubar III 2020	20.8	/	36.4	/	36.4	1:1.8:1.8	/	/	/
Léonard & Gros Lambert 2021	32-35	50%: 100 50%: 135	72-79	50%: 100 50%: 135	70-80	1:2.05:2 до 1:2.45:2.5	Малтер 4	/	/

Варијације у димензијама функционалних јединица (Табела 4.5) условљавају и примену различите количине поздера, везива и воде. У литератури се генерално помиње однос поздера и везива од 1:2 за израду зидова (Cerezo 2005, Lanos et al. 2014), али ниједно истраживање се не држи тог тачног односа и већина истраживања примењује мање везива. Однос поздера и везива од 1:2.2 из комерцијалне литературе (Tradical 2016b) је присутан у два истраживања (Boutin et al. 2006 и Pretot, Collet & Garnier 2014). Пропорционално највећа количина везива је присутна у еколошкој декларацији за производњу бетона од конопље и креча у Француској (EVEA 2018), пошто се гледа просек различитих комерцијалних мешавина. Најнижа количина везива у бетону од конопље и креча је присутна у Ариђони и др. (Arrigioni et al. 2017). Они анализирају зид од блокова и указују да је могуће применити мање везива због већег збијања мешавине приликом производње блокова. Поређењем две еколошке декларације Белгијског произвођача блокова (Léonard & Gros Lambert 2018 и Léonard & Gros Lambert 2021) уочава се да касније истраживање приказује више везива у мешавини и мање малтера по запремини блокова, што указује на потенцијалне промене у производњи или да различите величине блокова имају различите односе поздера и везива.

Постоје значајне разлике у раздаљинама превоза, које варирају према специфичностима контекста и поставкама истраживања. За превоз сировина на локацију, истраживања генерално користе просечне раздаљине превоза које су дефинисане према контексту. Истраживања не узимају у обзир производњу грађевинских машина, као ни превоз радника и машина на локацију. Струја за мешање или прскање представља главни унос при изградњи зида. Уочена је идентична потрошња струје за мешање смеше од конопље и креча ( $4\text{kWh/m}^3$ ), у истраживањима са ручном испуном (Ir & Miller 2012, Sinka et al. 2018 и Lecompte, Levasseur & Maxime 2017). Прскање троши мало више електричне енергије (5 до  $5.77\text{kWh/m}^3$ ), али захтева мање радне снаге. Ниједно истраживање не разматра расипање или отпад у форми поздера, везива и дрвета током изградње. Само еколошке декларације (EVEA 2018, Léonard & Gros Lambert 2018, Sié 2018 и Léonard & Gros Lambert 2021) и изворно истраживање (Boutin et al. 2006) узимају у обзир превоз и одлагање отпада од амбалаже са градилишта. Остала истраживања или указују да не узимају отпад у обзир или уопште не помињу амбалажу и отпад који се створи током фазе изградње. Пошто амбалажа представља релативно мали унос и има ниску масу, у контексту целокупне функционалне јединице, може имати реалативно мали утицај на свеукупне еколошке утицаје бетона од конопље и креча, али губици сировина приликом изградње могу имати израженији утицај поготово кад је у питању материјал који се формира *in situ* на локацији. Уочено је да су еколошки утицаји параметара у склопу фазе изградње релативно неиспитани у постојећим истраживањима. Еколошки утицаји раздаљине превоза

сировина и степена формирања грађевинског отпада су идентификовани као кључни параметри за даље истраживање кроз анализе осетљивости.

#### **4.4.5 Фаза коришћења (Б1 до Б7)**

У склопу фазе коришћења већина истраживања узима у обзир само карбонатизацију везива. Сматра се да није неопходно поправљати или додатно одржавати зид од бетона од конопље и креча и већина истраживања не узима у обзир обраду зида. Само Прето, Коле и Гарније (Pretot, Collet & Garnier 2014) и Леком, Левасур и Максим (Lecompte, Levasseur & Maxime 2017) узимају у обзир обнове спољашње и унутрашње обраде од малтера у основном сценарију. Прето, Коле и Гарније (Pretot, Collet & Garnier 2014), имају најдетаљнију анализу фазе коришћења пошто сагледавају утицај броја обнова малтера и типа малтера, док Леком, Левасур и Максим (Lecompte, Levasseur & Maxime 2017) не указују који тип малтера је примењен и узимају у обзир само једну спољашњу и унутрашњу обнову. Табела 4.14 приказује степен карбонатизације и факторе карбонатизације за везива примењена у анализираним истраживањима.

Табела 4.14: Карбонатизација везива у постојећим проценама животног циклуса бетона од конопље и креча

Научно истраживање	Степен карбонатизације састојака везива	Фактор карбонатизације састојка везива (kgCO <sub>2</sub> eq/kg)	Укупни фактор карбонатизације везива (kgCO <sub>2</sub> eq/kg везива)
Boutin et al. 2006; Boutin & Flamin 2013	/	/	0.249
Ip & Miller 2012	100% Сви елементи везива <sup>32</sup>	/	0.571
Nordby & Shea 2013	100% Сви елементи везива	/	0.091
Pretot, Collet & Garnier 2014	100% Хидратисани креч	0.594	0.462
	60% Хидраулични креч	0.1069 (0.1782)	
Arrigoni et al. 2017	100% Доломитски креч	/	0.325
	75% Портланд цемент	/	
Florentin et al. 2017	100% Сви елементи везива	/	0.7
Lecompte, Levasseur & Maxime 2017	85% Хидратисани креч	0.538 (0.63)	0.238 ФЈ са прскањем 0.524 ФЈ са ручном испуном
	60% Хидраулични креч	0.204 (0.34)	
Sinka et al. 2018	100% Хидратисани креч	0.594	0.487
	60% Хидраулични креч	0.356 (0.594)	
Leonard & Gros Lambert 2018	100% Хидратисани креч	0.594	0.497
	75% Хидраулични креч	0.446 (0.594)	
EVEA 2018	75% Сви елементи везива	/	0.290
Sié 2018	75% Сви елементи везива	/	/
Arehart, Nelson & Srubar III 2020	75% Хидратисани креч	/	0.47
	75% Хидраулични креч	/	
Arehart, Nelson & Srubar III 2020	75% Хидратисани креч	/	0.46
	75% Портланд цемент	/	
Léonard & Gros Lambert 2021	90% Сви елементи везива	/	/

Уочавају се значајне варијације у коначним факторима за везивање CO<sub>2</sub>, али пошто истраживања не користе иста везива, меродавније је анализирати одабрани степен карбонатизације и максимални теоретски фактор карбонатизације индивидуалних састојака везива. Нека истраживања не пружају образложења везана за методологију обрачуна фактора за карбонатизацију везива. Бутан и др. (Boutin et al. 2006) се ослањају на препоруку произвођача, док Ип и Милер долазе до значајно веће вредности иако теоретски примењују исто везиво. Нордби и Шеј (Nordby & Shea 2013) примењују најмању вредност за карбонатизацију везива (0.091 kgCO<sub>2</sub>eq по килограму везива), пошто су

<sup>32</sup>Ознака „Сви елементи везива“ се односи на све елементе који очвршћују карбонатизацијом

преузели вредности за кречно цементни малтер. С обзиром да карбонатизација зависи од амбијенталних услова, тешко је дефинисати апсолутну вредност за карбонатизацију везива током животног века функционалне јединице, поготово ако се анализирају уопштени примери без тачне географске позиције. Стога је неопходно направити научно утемељену процену која репрезентује реалистичан сценарио карбонатизације током животног века функционалне јединице.

Ариђони и др. (Arrigoni et al. 2017) примењују принципе стехиометрије да израчунају фактор карбонатизације. Претпоставља се потпуна карбонатизација портландита у ваздушном/ доломитском кречу и 75% калцијум оксида у хидрауличним фазама портланд цемента, као и у истраживању Лагерблада (Lagerblad 2005). Ариђони и др. (Arrigoni et al. 2017) такође указују да комплетна карбонатизација везива није загарантована у пракси и експериментално испитују степен карбонатизације блока од бетона од конопље и креча. На основу експеримента изналазе веома низак фактор карбонатизације ( $0.012 \text{ kgCO}_{2\text{eq}}$  по килограму везива). Може се аргументовати да се овај фактор не може сматрати релевантним на нивоу животног века од 100 година, пошто је експеримент трајао само 8 месеци и указано је да карбонатизација није допрла дубље од 6 центиметра у блоку. Такође нису наведени амбијентални услови у којима су блокови држани и није познато да ли су негативно деловали на карбонатизацију. Коначно треба имати у виду, да ће се материјал највероватније смрвити на крају животног века, што повећава директан контакт материјала са ваздухом и влагом и даље поспешује карбонатизацију (Sie 2018). Ипак пошто комплетна карбонатизација хидрауличног елемента у везиву није могућа, може се аргументовати да истраживања (Ip & Miller 2012 и Florentin et al. 2017) која су претпоставила комплетну карбонатизацију везива примењују превише поједностављен модел који прецењује овај фактор.

За хидратисани креч, истраживања претпостављају степен карбонатизације портландита од 75% до 100%. Француске еколошке декларације (EVEA 2018 и Sié 2018) претпостављају степен карбонатизације од 75% пошто се усклађују са вредностима за карбонатизацију портланд цемента из стандарда *EN 16757* (CEN 2022), док Ерхарт, Нелсон и Срубар (Arehart, Nelson & Srubar III 2020) дефинишу степен карбонатизације од 75% као нижу процењену вредност на основу анализе литературе Деспоту и др. (Despotou et al. 2016). Уочено је да је и у малтерима који су стари више векова максимални степен карбонатизације хидратисаног креча 80% до 92%. Пошто је конструкција од бетона од конопље и креча значајно дебља од типичног слоја кречног малтера, Ерхарт, Нелсон и Срубар (Arehart, Nelson & Srubar III 2020) сматрају да је степен карбонатизације од 75% адекватан за хидратисани креч. Њихова претпоставка се базира на отежаној дифузији угљен диоксида у зидове веће дебљине, али не разматрају импликације рушења и мрвљења материјала на крају животног



века. Више истраживања (Pretot, Collet & Garnier 2014, Sinka et al. 2018 и Leonard & Gros Lambert 2018) претпоставља потпуну (100%) карбонатизацију портландита у хидратисаном кречу. Док је ово теоретски могуће, анализа литературе Деспоту и др. (Despotou et al. 2016) указује да је то мало вероватно, те је могуће да је део истраживања преценио фактор карбонатизације хидратисаног креча.<sup>33</sup>

Истраживања не указују на тип природног хидрауличног креча у везиву, али се може претпоставити да је у питању *NHL5*, пошто омогућава најјаче хидраулично учвршћивање. За некомплетну карбонатизацију хидрауличног креча, истраживања генерално примењују степен карбонатизације од 60% или 75%. Мада Леонар и Гросламбер (Léonard & Gros Lambert 2021) и Ип и Милер (Ip & Miller 2012) примењују степен карбонатизације од 90% односно 100% и на хидраулични креч у везиву, пошто само дефинишу степен карбонатизације целокупног везива. Прето, Коле и Гарније (Pretot, Collet & Garnier 2014) сматрају да се у хидрауличном кречу само портландит карбонатује и да типични хидраулични креч садржи 60% портландита. Леком, Левасур и Максим (Lecompte, Levasseur & Maxime 2017) и Синка и др. (Sinka et al. 2017) преузимају степен карбонатизације од 60% за хидраулични креч од Прето, Коле и Гарније (Pretot, Collet & Garnier 2014). Док Прето, Коле и Гарније (Pretot, Collet & Garnier 2014) потенцијално потцењују фактор карбонатизације хидрауличног креча, Леонар и Гросламбер (Léonard & Gros Lambert 2018) и Синка и др. (Sinka et al.

---

<sup>33</sup> Ова три истраживања такође примењују вредност од  $0.594\text{kgCO}_{2\text{eq}}$  за комплетну карбонатизацију  $1\text{kg}$  хидратисаног креча. Може се аргументовати да је ова вредност виша од максималне теоретске могућности карбонатизације хидратисаног креча, пошто претпоставља да се хидратисани креч састоји искључиво од портландита ( $100\% \text{Ca}(\text{OH})_2$ ). Постоје мањкавости у вредности за комплетну карбонатизацију хидратисаног креча и у истраживању Леком, Левасур и Максим (Lecompte, Levasseur & Maxime 2017). Они изналазе још већи максимални потенцијал за комплетну карбонатизацију хидратисаног креча од  $0.63\text{kgCO}_{2\text{eq}}$ , што није могуће пошто вредност од  $0.594\text{kgCO}_{2\text{eq}}$  већ претпоставља да се сав хидратисани креч може карбонатизовати. Такође претпостављају да хидратисани креч садржи 92% портландита, али грешком примењују вредност од  $64\text{g/mol}$  за моларну масу портландита уместо  $74\text{g/mol}$ . На тај начин добијају  $0.63\text{kgCO}_{2\text{eq}}$  уместо  $0.547\text{kgCO}_{2\text{eq}}$ . Претпоставља се степен карбонатизације хидратисаног креча од 85%, коју преузимају као средњу вредност из резултата истраживања Лоренса (Lawrence 2006). Узимајући у обзир степен карбонатизације од 85%, требали су применити вредност од  $0.465\text{kgCO}_{2\text{eq}}$  уместо  $0.534\text{kgCO}_{2\text{eq}}$ . На основу датих података уочава се да је карбонатизација од  $0.7\text{kgCO}_{2\text{eq}}$  по килограму везива из истраживања Флорентин и др. (Florentin et al. 2017) значајно пренаглашена.

2017) га прецењују.<sup>34</sup> Карбонатизација представља битан фактор који утиче на биланс емисија CO<sub>2</sub> при примени бетона од конопље и креча и недостатак дефинитивних података из праксе и консенцуса око максималних фактора карбонатизације уноси додатну неизвесност у процену животног циклуса бетона од конопље и креча. Међутим и поред методолошких разлика и варијација у типу везива, степену и максималним факторима карбонатизације већина истраживања изналази укупни фактор карбонатизације везива у опсегу од 0.46kgCO<sub>2eq</sub> до 0.524kgCO<sub>2eq</sub> по килограму везива. Могу се наћи методолошке слабости у моделима карбонатизације код многих истраживања и потенцијално прецењивање фактора карбонатизације везива може створити нетачну слику о нивоу еколошке исправности бетона од конопље и креча. Стога је било кључно испитати еколошки утицај варирања фактора карбонатизације везива кроз анализу осетљивости у спроведеном истраживању.

#### 4.4.6 Фаза одлагања (Ц1-Ц4)

Фаза одлагања подразумева рушење, превоз и одлагање функционалне јединице од бетона од конопље и креча. Услед велике неизвесности око краја животног века бетона од конопље и креча, многа истраживања не сагледавају фазу одлагања. Две кључне непознанице су потенцијал рециклирања и степен биоразградивости материјала. Ип и Милер (Ip and Miller 2012) сматрају да се на крају животног века бетон од конопље и креча може користити као агрегат за блокове и друге

---

<sup>34</sup> На основу примењених фактора карбонатизације, може се утврдити да портландит чини 18% њиховог хидрауличног креча, што се поклапа са комерцијалном литературом (Banca della Calce 2019). Међутим калцијум оксид у портландиту и минералним фазама чини само 22.7% хидрауличног креча, што је значајно ниже од података произвођача (Banca della Calce 2019 2021 и St Astier 2016a). Стога пример хидрауличног креча из њиховог истраживања или садржи значајно мање укупног СаО или значајно више непеченог СаСО<sub>3</sub>. Пошто не узимају у обзир потенцијал карбонатизације СаО у хидрауличним минералним фазама и приказују релативно низак укупни садржај СаО може се аргументовати да су Прето, Коле и Гарније (Pretot, Collet & Garnier 2014) потценили фактор карбонатизације хидрауличног креча. Леком, Левасур и Максим (Lecompte, Levasseur & Maxime 2017) узимају у обзир и карбонатизацију СаО у хидрауличним минералним фазама, те примењују виши фактор карбонатизације (0.204kgCO<sub>2eq</sub>), који је доста приближнији подацима произвођача *St Astier* (St. Astier 2016a). Синка и др. (Sinka et al. 2017) примењују још виши фактор карбонатизације (0.356kgCO<sub>2eq</sub>), али се може аргументовати да им је поставка погрешна. Наиме они претпостављају да хидраулични креч има исти потенцијал за карбонатизацију као хидратисани креч (0.594kgCO<sub>2eq</sub> по килограму креча) и претпостављају да је карбонатизација хидрауличног креча 60% те вредности. Лапоровити кречњак који се користи за прављење хидрауличног креча има нижи укупни садржај СаСО<sub>3</sub> од чистог кречњака и испусти мање СО<sub>2</sub> приликом калцинације, те је јасно да они прецењују фактор карбонатизације целокупног везива. Леонар и Гросламбер (Léonard & Gros Lambert 2018) праве исту грешку, с тим што они примењују степен карбонатизације од 75%, те још више прецењују фактор карбонатизације (0.446kgCO<sub>2eq</sub>).

производе. Међутим, сва истраживања која укључују фазу одлагања у границе система, само разматрају целокупно депоновање материјала. Табела 4.15 приказује однос анализираних истраживања према фази одлагања и инертности бетона од конопље и креча, као и количину отпада на крају животног века и раздаљину превоза отпада.<sup>35</sup>

Табела 4.15: Анализа инвентара фазе одлагања постојећих процена животног циклуса бетона од конопље и креча

Научно истраживање	Крај животног циклуса узет у обзир	Количина отпада (kg)	Раздаљина превоза (km)	Инертност материјала
Boutin et al. 2006; Boutin & Flamin 2013	Да	98	20	Биоразградивост је поменута, али није примењена пошто подаци за бетон од конопље и креча нису доступни
Ip & Miller 2012	Не	/	/	Крај животног века непознат
Nordby & Shea 2013	Не	/	/	Није узет у обзир
Pretot, Collet & Garnier 2014	Да	/	20	Инертан материјал
Arrigoni et al. 2017	Не	/	/	Крај животног века није познат, највероватније ће сав везани CO <sub>2</sub> остати у материјалу
Florentin et al. 2017	Не	/	/	Није узето у обзир због неизвесности
Lecompte, Levasseur & Maxime 2017	Да	/	/	Одлагање на депонију, остаје инертан материјал
Sinka et al. 2018	Не	/	/	Инертан материјал
Léonard & Gros Lambert 2018	Да	340	25	Одлагање на депонију, остаје инертан материјал
EVEA 2018	Да	682	30	Одлагање на депонију, остаје инертан материјал
Sié 2018	Да	90.75	30	Одлагање на депонију, 15% масе угљеника у сувој материји се разграђује (пола као CO <sub>2</sub> , пола као CH <sub>4</sub> )
Arehart, Nelson & Srubar III 2020	Не	/	/	Инертан материјал
Léonard & Gros Lambert 2021	Да	128.2	30/50	Одлагање на депонију, 15% масе угљеника у сувој материји се разграђује (пола као CO <sub>2</sub> , пола као CH <sub>4</sub> ). 70% CH <sub>4</sub> се скупља и користи за производњу енергије

<sup>35</sup> Стабилизована тежина функционалне јединице од бетона од конопље на крају животног века.

Разградња бетона од конопље и креча на крају животног века може имати значајан утицај на еколошку исправност материјала пошто разградња органског угљеника резултује у емисијама гасова стаклене баште. Више истраживања (Pretot, Collet & Garnier 2014, Arrigioni et al. 2017, Léonard & Gros Lambert 2018, Arehart, Nelson & Srubar III 2020) претпоставља да везиво чини материјал инертним и да неће доћи до разградње поздера и емисија гасова стаклене баште на крају животног века. Бутан и др. (Boutin et al. 2006) указују на могућност биоразградње, али је нису укључили у фазу одлагања, пошто подаци за разградњу бетона од конопље и креча нису доступни. Си (Sié 2018) укључује еколошке утицаје разградње у процену животног циклуса и примењује фактор разградње органског угљеника ( $DOC_F$ ) од 15% који је дефинисан у Француском техничком документу о крају животног века дрвета (FCBA 2012). Пола разграђеног органског угљеника се испусти као  $CO_2$ , док се пола испусти као метан ( $CH_4$ ). У ревизији оригиналне еколошке декларације (Léonard & Gros Lambert 2018) за блокове од конопље и креча Леонар и Гросламбер (Léonard & Gros Lambert 2021) такође узимају у обзир разградњу органског угљеника у поздеру, пошто стандард *EN15804:2012+A2:2019* (CEN 2019) не дозвољава потпуно складиштење биогеног угљеника на крају животног века. Они такође примењују фактор разградње органског угљеника од 15%. Део  $CH_4$  је могуће прихватити и искористити у производњи енергије, те (Léonard & Gros Lambert 2021) претпостављају да ће се 70% испуштеног угљеника прихватити и спалити чиме се ствара енергија и испушта  $CO_2$ . Сценарио разградње може имати приметан утицај на показатељ за климатске промене пошто према *CML-IA* факторима карактеризације (CML Department of Industrial Ecology 2016) емисија 1kg  $CH_4$  једнака емисији 28kg  $CO_2$ . Остала истраживања не коментаришу инертност или биоразградивост материјала на крају животног века. Иако постоје истраживања која испитују осетљивост бетона од конопље и креча на деловање микроорганизама, недостају истраживања која анализирају разградњу смрвљеног материјала на крају животног века у аеробним и анаеробним условима који рефлектују надземно или подземно депоновање. За сада еколошки утицај рециклирања и примене рециклираног бетона од конопље и креча нису истражени. Иако крај животног века бетона од конопље и креча још увек није довољно истражен, може се аргументовати да потпуно изостављање или игнорисање фазе одлагања формира некомплетну и донекле повољнију слику еколошких утицаја бетона од конопље и креча. Стога су сви сегменти фазе одлагања анализирани у спроведеном истраживању и дефинисан је сценарио који испитује еколошки утицај разградње поздера на крају животног века бетона од конопље и креча.

## **5. Методолошки оквир за процену животног циклуса бетона од конопље и креча**

Основни методолошки оквир за израду процена животног циклуса у истраживању се преузима из међународних стандарда *ISO 14040* (ISO 2006a) и *14044* (ISO 2006b). Први корак у процесу процене животног циклуса је дефинисање циља и обима.

### **5.1 Циљ и обим процене животног циклуса бетона од конопље и креча у контексту Србије**

Основни циљ процене животног циклуса је да се анализирају еколошки утицаји примене бетона од конопље и креча у Србији. Свеобухватни циљ је да се применом анализа осетљивости испита еколошки утицај кључних фактора у животном циклусу бетона од конопље и креча. Основу процене животног циклуса представља функционална јединица А која представља просечан сценарио животног циклуса *in situ* зида од бетона од конопље и креча у Србији. На основу анализе литературе уочени су основни фактори који могу утицати на еколошку исправност примене бетона од конопље и креча. Применом анализа осетљивости испитују се еколошке импликације варијација које могу настати током животног циклуса бетона од конопље и креча и формирају песимистичан и оптимистичан сценарио као доња и горња граница еколошких утицаја животног века зида од бетона од конопље и креча. Фактори који се испитују су: фактор везивања угљен диоксида током фотосинтезе (на основу садржаја угљеника у поздери), фактор карбонатизације везива, принос индустријске конопље, раздаљина превоза сировина на локацију изградње и степен формирања грађевинског отпада приликом изградње.

Референтна функционална јединица се такође користи као оквир за испитивање еколошких утицаја разградивости поздера на крају животног века, префабрикације бетона од конопље и креча у блокове и примене различитих врста унутрашње и спољашње обраде зида. Ова сазнања формирају основу за поређење зидова од бетона од конопље и креча са типичном грађевинском праксом у Србији. Функционалне јединице и границе система се дефинишу према контексту Србије на основу сазнања из постојећих истраживања о процени животног циклуса бетона од конопље и креча. Границе система обухватају животни век функционалне јединице А од колевке до гроба.

#### **5.1.1 Функционална јединица А**

По узору на досадашња истраживања у свету, усвојено је да основну функционалну јединицу А за анализу примене у новоградњи, представља  $1\text{m}^2$  зида од бетона од конопље и креча дебљине 29cm и животним веком од 100 година. Израђује се ручном испуном у оплату око два дрвена стуба од

меког дрвета (5x15x100cm) са типичном рецептуром за израду зидова која подразумева однос сировина од 1:2:3 (поздер:везиво:вода) према маси.<sup>36</sup> Дебљина функционалне јединице се усваја достизањем коефицијента пролаза топлоте од 0.30W/m<sup>2</sup>K, који представља минимални критеријум за спољашње зидове у новоградњи на основу „Правилника о енергетској ефикасности зграда“ (МГСИ РС 2011). Густина бетона од конопље и креча се дефинише на основу формуле (8) и типских мешавина у Ланос и др. (Lanos et al. 2013).

$$\rho_{\text{ВКК}} = \rho_{\text{Р}} + \rho_{\text{В}} \cdot h_{\text{F}} \quad (8)$$

где су:

$\rho_{\text{ВКК}}$ : густина бетона од конопље и креча (kg/m<sup>3</sup>)

$\rho_{\text{Р}}$ : густина поздера у мешавини (kg/m<sup>3</sup>)

$\rho_{\text{В}}$ : густина везива у мешавини (kg/m<sup>3</sup>)

$h_{\text{F}}$ : фактор хидратације везива

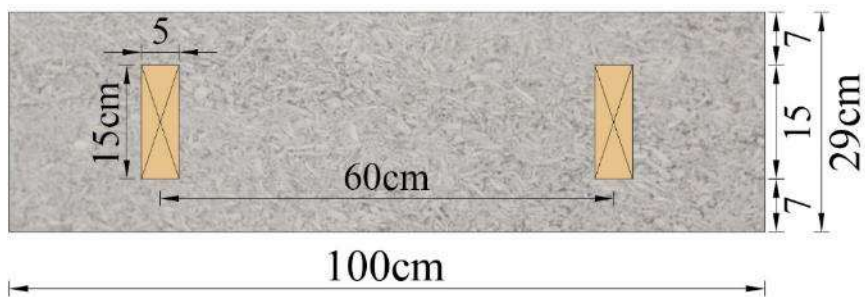
Применом фактора хидратације везива од 1.1 (Tronet et al. 2016) и просечне густине поздера од 110kg/m<sup>3</sup> (Lanos et al. 2013), дефинише се густина бетона од конопље и креча од 350kg/m<sup>3</sup>. Топлотна проводљивост од 0.0894W/mK се рачуна према густини, користећи формулу (5) (Cerezo 2005).<sup>37</sup> За дрвене стубове се примењује топлотна проводљивост од 0.14W/mK (МГСИ РС 2011). Функционална јединица представља конструкцију једноставне хетерогености и коефицијент пролаза топлоте се дефинише комбинованом методом према доњој граничној вредности. Да би се постигао неопходни коефицијент пролаза топлоте, усваја се дебљина функционалне јединице од 29cm, која садржи 0.275m<sup>3</sup> бетона од конопље и креча и 0.015m<sup>3</sup> дрвета. Стога, функционална јединица садржи 30kg поздера, 60kg везива, 6.75kg<sup>38</sup> меког дрвета и има стабилизовану тежину од 103kg.

---

<sup>36</sup> По узору на постојећа истраживања за дрвену конструкцију се дефинишу два вертикална стуба

<sup>37</sup>  $\lambda = 0.0002\rho + 0.0194$

<sup>38</sup> Стубови су од смреке (12% влаге), густине 450 kg/m<sup>3</sup>



Слика 5.1: Основа функционалне јединице А

### 5.1.2 Анализе осетљивости сценарији П и О

Еколошки утицај варијација које могу настати приликом примене бетона од конопље и креча се могу испитати кроз анализе осетљивости, које указују на који начин варијација специфичног уноса у модел, утиче на коначан резултат. Анализе осетљивости стога захтевају формирање нових сценарија који проистичу из варијације основне функционалне јединице А. Ознаке за анализе осетљивости се дефинишу са великим словом које означава ком основном сценарију припадају и индексом који представља скраћеницу фактора који се испитује.

**Песимистичан сценарио (П) и Оптимистичан сценарио (О)** - Сценарио П представља песимистичан сценарио животног века бетона од конопље и креча у Србији, док сценарио О представља оптимистичан сценарио. Сценарији П и О представљају доње и горње границе еколошких утицаја животног века бетона од конопље и креча, а функционална јединица А представља средње вредности. Оба сценарија представљају скуп индивидуалних анализа осетљивости које сагледавају кључне варијабиле у животном веку бетона од конопље и креча. Варијабиле које се испитују су:

- 1) **Садржај угљеника у поздеру (СУ) ( $P_{СУ}/O_{СУ}$ )** – фактор везивања  $CO_2$  путем фотосинтезе се дефинише на основу садржаја угљеника у поздеру. Варијације у условима узгоја и избору сорте индустријске конопље могу значајно утицати на укупни везани  $CO_2$  током животног циклуса зида од бетона од конопље и креча;
- 2) **Степен карбонатизације везива ( $KAP$ ) ( $P_{KAP}/O_{KAP}$ )** - варијација у степену карбонатизације зависи од амбијенталних услова и утиче на укупни фактор карбонатизације везива;
- 3) **Принос индустријске конопље (ПИК) ( $P_{ПИК}/O_{ПИК}$ )** - принос индустријске конопље може зависити од амбијенталних услова и агрономске праксе. Пошто је тешко проценити како сви фактори могу утицати на коначан принос, сагледаће се само еколошки утицај варијације укупног приноса поздера за исте агрономске уносе;

- 4) **Раздаљина превоза сировина у фази имплементације (РП) ( $P_{RP}/O_{RP}$ )** – раздаљина превоза сировина од капије до локације у варира у пракси. Сагледава се еколошки утицај варијације просечних раздаљини превоза сировина;
- 5) **Грађевински отпад у фази имплементације (ГО) ( $P_{GO}/O_{CY}$ )** - Губици грађевинских материјала приликом превоза и изградње су неминовни и зависе од добре праксе. Сагледава се еколошки утицај варијације количине формираног грађевинског отпада током фазе имплементације.

### 5.1.3 Алтернативни сценарији примене бетона од конопље и креча

Алтернативни сценарији примене бетона од конопље и креча се такође ослањају на варијацију функционалне јединице А, али и даље у основи представљају  $1m^2$  зида од бетона од конопље и креча са животним веком од 100 година и коефицијентом пролаза топлоте од  $0.30W/m^2K$ . Сагледавају се индивидуално и одвојено од сценарија П и О, пошто подразумевају свестан избор да се материјал примени на алтернативан начин у односу на функционалну јединицу А. Алтернативни сценарији који представљају директну варијацију функционалне јединице А означавају се скраћеницом „А+...“ где први део скраћенице указује да су варијација функционалне јединице А, а други део описује начин варирања. Следећи сценарији углавном подразумевају примену бетона од конопље и креча са различитим физичким својствима:

- 1) **Алтернативни сценарио фазе одлагања ( $A+FO_{DOC/CE}$ )** – Пошто постоји нејасноће око потенцијала за разградњу бетона од конопље и креча, сагледаће се алтернативни сценарио фазе одлагања (ФО) у којем се узима у обзир разградња поздера. Анализирају се еколошке импликације варирања фактора разградње органског угљеника ( $DOC_F$ ) и ефикасности система за скупљање  $CH_4$  ( $CE$ );
- 2) **Префабрикација у блокове (Б)** – Пошто је градња блоковима типична пракса у Србији, примена бетона од конопље и креча у форми префабрикованог блока, може бити најлакши начин за увођење материјала у грађевинску праксу. Стога је значајно сагледати еколошке утицаје префабрикације материјала;
- 3) **Обрада зида од бетона од конопље и креча ( $A+M_{KT}$ ,  $A+M_{PKK}$  и  $A+VF_D$ )** – У пракси је неопходно обработити зид од бетона од конопље и креча макар са спољашње стране како би се материјал додатно заштитио. Сагледаће се еколошки утицај малтерисања (М) функционалне јединице А кречним тестом (КТ) и природним хидрауличним кречом (ПКК) и еколошки утицај примене вентилисане фасаде (ВФ) са даскама од дрвета (Д);



#### 4) Различити режими обнова завршних обрада зида

Током животног века од 100 година неопходно је обнављати спољашње и унутрашње обраде зидова у фази коришћења (ФК). Режим обнова који се дефинише варијацијом броја унутрашњих и спољашњих обрада зида може зависити од више фактора попут квалитета обраде, спољашњих утицаја на обраду или воље корисника. Испитују се еколошки утицаји песимистичних (...+ФК<sub>П</sub>) и оптимистичних режима (...+ФК<sub>О</sub>) обнова сценарија А+М<sub>КТ</sub> (А+М<sub>КТ</sub>+ФК<sub>П</sub> и А+М<sub>КТ</sub>+ФК<sub>О</sub>).

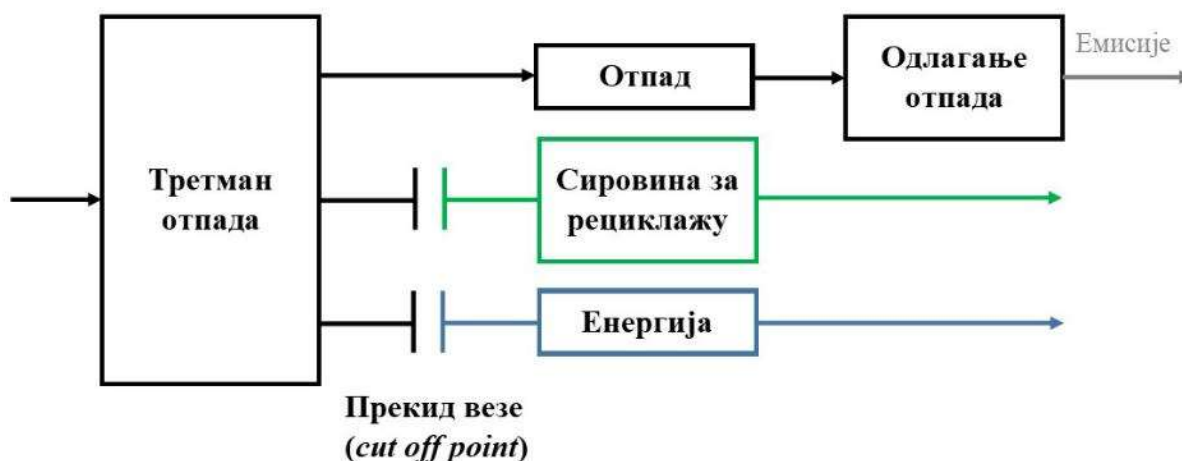
#### 5.1.4 Модел процене животног циклуса и еколошки показатељи

На основу циљева истраживања дефинисан је модел процене животног циклуса. Према Финеведен и др. (Finneveden et al. 2009) атрибуциона (*attributional*) процена животног циклуса „циља да опише еколошки значајне физичке токове до и од животног циклуса и његових подсистема“ док последична (*consequential*) процена животног циклуса „циља да опише како се еколошки значајни токови мењају као резултат могућих одлука“. Еквал (Ekvall 2019) закључује да атрибуционе процене указују који део глобалних еколошких утицаја припадају производу док последичне процене процењују како животно циклус производа може утицати на глобалне еколошке утицаје. Према циљевима истраживања дефинише се атрибуциони приступ, пошто ставља фокус на еколошке утицаје који настају као директан резултат животног циклуса бетона од конопље и креча. Последични приступ има шири фокус и сагледава и какав утицај животно циклус бетона од конопље и креча има на друге повезане производне системе. Последични приступ би био прикладнији за стратешко истраживање које би испитивало еколошке последице увођења бетона од конопље и креча на домаће тржиште. На пример какав би могао бити еколошки утицај смањене примене опекарских блокова и армираног бетона као резултат потенцијалне примене бетона од конопље и креча.

Одабир приступа утиче на дефинисане границе система и одабир података. Атрибуциони приступ користи просечне вредности за дефинисано географско подручје. Где процес или производни систем резултирају производњом више производа, еколошки утицаји се расподељују (алоцирају) између тих производа према економској вредности (*economic allocation*) или тежини производа (*mass allocation*). У раду је *Ecoinvent* база података идентификована као кључан извор података. Ову базу података је основао Швајцарски Институт за Технологију у Цириху (*ETH Zurich*) у сарадњи са више других швајцарских истраживачких института. *Ecoinvent* база података организује податке према четири основна системска модела: „*allocation, cut off by classification*“, „*allocation, cut off, EN 15804*“, „*allocation at the point of substitution*“ и „*substitution, consequential, long term*“ (*Ecoinvent*

2022). Модел „*substitution, consequential, long term*“ је повезан са последичним проценама животног циклуса и није узет у обзир. Модели „*allocation, cut off by classification*“ и „*allocation at the point of substitution*“ прате атрибуциони приступ процени животног циклуса. Једна од основних разлика између ова два модела је расподела еколошких терета отпада и нуспроизвода који настају у производном систему. Модел „*allocation at the point of substitution*“ је комплекснији пошто се еколошки терет отпада дели између произвођача и наредних корисника који имају користи од производа који настају као резултата процеса третирања отпада (Ecoinvent 2022). За истраживање је изабран модел „*allocation, cut off by classification*“ пошто је једноставнији, а стратегије одлагања и рециклирања бетона од конопље и креча нису још довољно развијене да би се потенцијалне еколошке предности примене рециклираних сировина могле адекватно расподелити.

У моделу „*allocation, cut off by classification*“ сав отпад се приписује оригиналном произвођачу или кориснику производа (Слика 6.2).



Слика 5.2: Концептуална шема резултата тремана отпада у моделу „*allocation, cut off by classification*“

Уколико се након прераде отпада добије енергија или производ који може да се рециклира долази до прекида везе са оригиналним производним системом (*cut off*). Стога енергија или сировине које могу да се рециклирају долазе без оптерећења (*burden free*) у нови производни систем. Оригиналом производном систему се не приписују еколошке олакшице које настају као резултат примене рециклираног производа или потрошње настале енергије. Модел „*allocation, cut off by classification*“ је коришћен за израду еколошких декларације (EPD) према стандарду EN 15804:2013+A1:2013

(CEN 2012) који је био у употреби све до почетка 2022. године. Стога примена овог модела тренутно омогућава приступ најширем обиму верификованих података.<sup>39</sup>

Еколошки показатељи које се процењују у истраживању су дефинисани према оквиру стандарда *EN 15804:2012+A1:2013* (CEN 2012) и рачунају се према *CML-IA* методи процене еколошких утицаја (Табела 5.1).

Табела 5.1: Списак еколошких показатеља који се процењује у истраживању

Еколошки показатељ	Јединица	<i>LCIA</i> метода
Потенцијал глобалног загревања ( <i>GWP</i> )	kgCO <sub>2eq.</sub> (100год.)	<i>CML-IA 4.8</i>
Потенцијал ацидификације ( <i>AP</i> )	kgSO <sub>2eq.</sub>	<i>CML-IA 4.8</i>
Потенцијал еутрофикација ( <i>EP</i> )	kgPO <sub>4eq.</sub>	<i>CML-IA 4.8</i>
Потенцијал стварање фотохемијског озона ( <i>POCP</i> )	kgC <sub>2</sub> H <sub>4eq.</sub>	<i>CML-IA 4.8</i>
Потенцијал трошење стратосферског озона ( <i>ODP</i> )	kg CFC-11 eq.	<i>CML-IA 4.8</i>
Потенцијал трошења абиотских ресурса ( <i>ADP</i> )	kg Sb eq.	<i>CML-IA 4.8</i>
Потенцијал трошења фосилних ресурса ( <i>ADPf</i> )	MJ	<i>CML-IA 4.8</i>

Ови показатељи су изабрани пошто:

- Представљају фокусиран скуп показатеља који покрива кључне феномене који утичу на квалитет животне средине;
- *CML-IA* методологија процене еколошких утицаја, развијена на Универзитету у Лајдену, има широку примену у научним истраживањима;
- Сагласни су са одабраним приступом процене животног циклуса и омогућавају преузимање података из највећег дела валидних еколошких декларација (*EPD*);

<sup>39</sup> Модел „*allocation, cut off, EN 15804*“ је уведен 2022. године и прати принципе модела „*allocation, cut off by classification*“, али служи за израду еколошких декларација (*EPD*) према новом стандарду *EN 15804:2012+A2:2019* (CEN 2019). Овај модел се плаћа додатно и садржи и показатеље неопходне за *EN 15804:2012+A2:2019* (CEN 2019) који нису доступни у осталим моделима *Ecoinvent* базе података.

- Део постојећих истраживања процене животног циклуса бетона од коношљеи креча користи *CML-IA* методологију процене еколошких утицаја (Boutin 2006, Pretot, Collet & Garnier 2014, Arrigioni 2017, EVEA 2018, Léonard & Gros Lambert 2018, Sié 2018 и Sinka et al. 2018)

## **5.2 Анализа инвентара процене животног циклуса бетона од коношље и креча у контексту Србије**

Корак анализе инвентара подразумева дефинисање свих јединичних процеса у границама система и преузимање и унос података у модел за процену еколошких утицаја.

### **5.2.1 Преузимање података за анализу инвентара**

Подаци за анализу инвентара се превасходно преузимају из *Ecoinvent* базе података. Подаци који нису били доступни у *Ecoinvent* бази података су преузети из релевантних еколошких декларација производа (*EPD*). *Ecoinvent* база података је једна од најпознатијих база података у свету и доступна је за коришћење директно преко *Ecoquery* вебсајта (Ecoinvent 2021) и кључних софтвера за израду процене животног циклуса попут *Simapro*, *GaBi* и *OpenLCA*. База података садржи податке инвентара и процене животног циклуса за преко 18000 процеса и производа везаних за грађевинску и друге важне индустрије. Основне предности примене *Ecoinvent* базе података су висок степен транспарентности (примењени извори и методологије) и широк обим доступних података (Martinez-Rocamora, Solis-Guzman & Marrero 2016). Преузимање података из међународних база података уноси одређени степен непрецизности у процене животног циклуса, пошто у многим случајима не могу да рефлектују тачан географски, временски или технолошки контекст неопходан за одређени процес. Ипак пошто не постоји база података за процену животног циклуса у контексту Србије, било је неопходно служити се подацима из међународних база података. *Ecoinvent* база података је изабрана пошто:

- Садржи податке за највећи број јединичних процеса који се налазе у границама система анализираних функционалних јединица и сценарија;
- Садржи изванредан број јединичних процеса специфично за географски контекст Србије. За сврхе научног истраживања посебно је значајно што садржи податке за јединичне процесе производње струје у Србији;
- Највећи део одговарајућих јединичних процеса је доступан за Европски географски контекст;
- Сваки производ и производни систем је детаљно и транспарентно описан, те је могуће направити информисану одлуку око прикладности података;
- Приказани су сви јединични процеси и остали улазни и излазни подаци који сачињавају одређени производни систем, те је могуће варирати јединичне процесе како би се производни систем

приближио српском контексту или формирати алтернативне производне системе користећи приказани пресек улазних и излазних података као теоретску основу;

-База података се ажурира на годишњем нивоу;

-Могуће је сагледати и преузети податке директно са вебсајта.

Приликом преузимања података са *Ecoinvent* вебсајта најпре је неопходно изабрати верзију базе података и модел процене животног циклуса. Примењени су подаци из верзије 3.8 *Ecoinvent* базе података (*Ecoinvent* 2021), пошто је то била најажурнија верзија базе података, кад се приступало коначној изради анализе инвентара за процене животног циклуса. Изабран је модел „*allocation, cut-off by classification*“. Процеси или производи се могу тражити према називу, локацији и индустријском сектору. За сваки процес или производ могуће је сагледати јединичне процесе који га сачињавају (*UPR*), улазне и излазне податке инвентара (*LCI*) и податке процене животног циклуса (*LCIA*) израчунате користећи широк спектар метода процене животног циклуса. Прикладност примене податка за дат процес или производ се може утврдити на основу сагледавања генералног описа, укључених улазних и излазних података у границама система и укључених активности (од колевке до капије).

Процеси и производи су означени географском одредницом и генерално постоји више различитих географских контекста за сваки процес или производ. Подаци за сваки прикладан јединични процес су изабрани према географском контексту. За контекст Србије само су преузети подаци за производњу струје (*market for electricity, low voltage, RS*), (*market for electricity, medium voltage, RS*) и (*market for electricity, high voltage, RS*). За остале процесе приоритет је дат подацима који рефлектују просечну производњу или израду у Европи (*RER/ Europe without Switzerland*). Пошто постоји значајна разлика између еколошких утицаја производње струје у Србији и европског просека, на основу потрошње струје приказане у подацима о јединичним процесима (*UPR*) за дат производ, примењен је фактор корекције који представља разлику у еколошким утицајима производње струје у Србији и Европи. У ситуацији када подаци за Европу нису били доступни примењени су глобални подаци (*RoW*) и (*GLO*) или други европски контексти примерени за специфични процес (*CH, IT, HU* итд.). За производе чији извор није дефинисан и који потенцијално не би били произведени у Србији, попут гранулата за производњу амбалаже, сировина за производњу ђубрива и других, примењени су тржишни процеси који узимају у обзир просечну производњу и раздаљину и методу превоза производа у датом географском контексту (*market for ...*, *RER, market for ... GLO* итд.).

Након избора процеса или производа, преузимају се подаци процене животног циклуса (*LCIA*), за дефинисане еколошке показатеље према *CML-IA 4.8* методологији. Подаци се уносе у математички модел који је израђен као табеларни приказ (*spreadsheets*) у *Microsoft Excel* софтверу. Уколико подаци за специфичан производ нису били доступни или адекватни у *Ecoinvent* бази података, примењени су подаци из релевантних, валидних еколошких декларација (*EPD*). Примењене декларације су рађене према *EN 15804:2012+A1:2013* (CEN 2012) са *CML-IA* факторима карактеризације и комплементарне су подацима преузетим из *Ecoinvent* базе података.

### 5.2.2 Дефинисање превоза у процени животног циклуса

Подаци за еколошки утицај превоза су преузети из *Ecoinvent* базе података. Пошто је процена животног циклуса рађена на нивоу дела зида, а не на нивоу целог објекта тачно оптерећење возила при превозу сировина није дефинисано. Примењене су просечне вредности за оптерећење возила приказане у Табели 5.2.

Табела 5.2: Класификација друмских теретних возила у *Ecoinvent* бази података

Класа возила	Просечна тежина терета (t)	Укупна тежина возила (t)
3.5-7.5t	0.98	4.98
7.5-16t	3.29	9.29
16-32t	5.79	15.79
>32t	15.96	29.96

У ситуацији када је то могуће, претпоставиће се производња сировина и производа у Србији. Пошто функционална јединица А представља пример просечне примене бетона од конопље и креча, она неће бити геолоцирана и дефинисаће се просечне раздаљине превоза. Просечне раздаљине друмског превоза робе од 2011. године до јула 2021. године су приказане у Табели 5.3.

Табела 5.3: Унутрашњи превоз робе у друмском саобраћају у Србији (Републички Завод за Статистику 2012, РЗС 2013, РЗС 2015, РЗС 2017, РЗС 2019, РЗС 2021, РЗС 2022а и РЗС 2022б)

Година	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Просек
Превезена роба, хиљ. t	4751	3466	3680	3635	4065	4826	5881	5230	7137	8838	8876	14588	<b>6247.8</b>
Тонски километри, мил.	563	446	442	417	503	527	690	625	904	1282	1239	1552	<b>765.8</b>
Просечна раздаљина превоза 1t робе, km	118.5	128.7	120.1	114.7	123.7	109.2	117.3	119.5	126.7	145.1	139.6	106.4	<b>122.6</b>

Просечна раздаљина унутрашњег друмског превоза робе у 2021. години износи 106.4km/t, што је значајно ниже од раздаљина од 139.6km/t и 145.1km/t у 2020. односно 2019. години. Ове вредности се поклапају са просеком од 140.7km/t у 2021. години унутар Европске Уније<sup>40</sup> (Eurostat 2022). Просечна раздаљина унутрашњег друмског превоза у првој половини 2022. године износи 114.3km (РЗС 2022б). С обзиром на релативну уједначеност у периоду пре 2019. године па нагли раст и нагли пад 2021. године за просечну вредност раздаљине друмског превоза робе узео се у обзир просек од 2010. године до краја 2021. године. Просечна раздаљина превоза од 2010. до 2021. године износи 122.5km/t. Узимајући у обзир тренд ка расту у првој половини 2022. години, просечна раздаљина превоза сировина унутар Србије се дефинише као 125km. Краћа раздаљина пута се користи у ситуацијама попут превоза отпада, где се може претпоставити локални превоз (20km). У случају где су обе тачке пута познате, користи се тачна раздаљина превоза. За превоз производа који се увозе без дефинисаног дистрибутера, узима се у обзир раздаљина превоза од страног произвођача до релевантног граничног прелаза и додаје се раздаљина од 250km уколико производ иде директно на коначну дестинацију или 125km ако би ишао на локацију преко дистрибутера. За грађевинске производе произведене у Србији који би се потенцијално набављали са локалног грађевинског стоваришта или преко локалног дистрибутера, претпоставља се раздаљина превоза робе од 125km од произвођача до локалног дистрибутера па затим још 20km до локације изградње. Специфични грађевински производи чији су подаци преузети из еколошких декларација се превозе 125km директно од дистрибутера.

<sup>40</sup> Државни просек за друмски превоз робе унутар земаља Европске Уније износио је 95.1km/t.

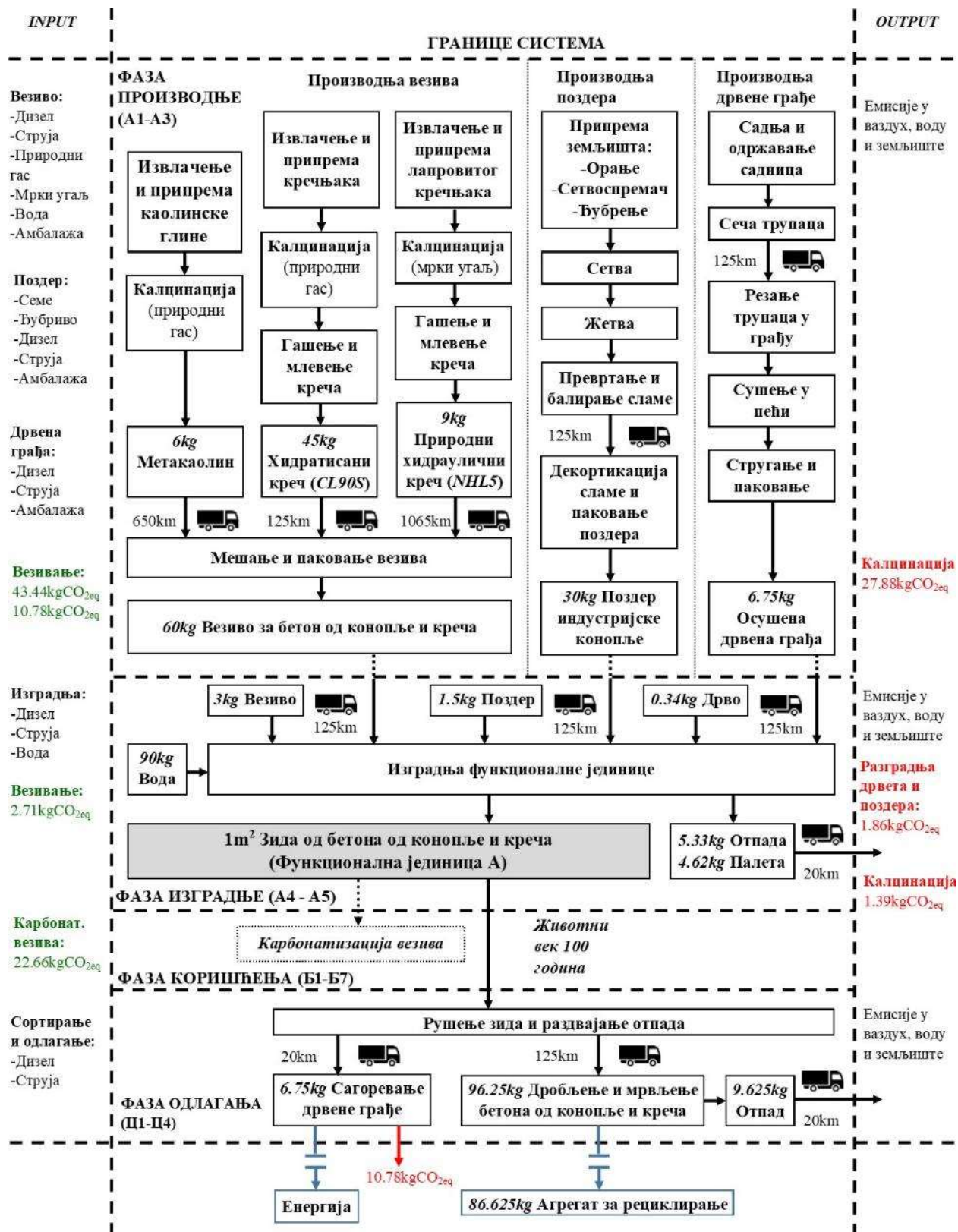
### 5.3 Анализа инвентара: Основна функционална јединица А и сценарији П и О

Анализа инвентара животног циклуса функционалне јединице А је приказана у Слици 5.3. Кључне варијабиле које се испитују кроз анализе осетљивости у сценаријима П и О су приказане у Табели 5.4.

Табела 5.4: Анализа инвентара за варијабиле испитане кроз сценарије П и О

Сценарио	А (основна ФЈ)	П (песимистичан)	О (оптимистичан)
Принос индустријске конопље (t)	10	7.5	12.5
Фактор везивања CO <sub>2</sub> (kgCO <sub>2eq</sub> ./kg поздера)	1.448	1.349	1.547
Раздаљина превоза сировина у фази изградње (km)	125	180	70
Степен формирања грађевинског отпада (%)	5	10	0
Фактор карбонатизације везива (kgCO <sub>2eq</sub> ./kg везива)	0.367	0.331	0.403





**Израдња:**  
-Дизел  
-Струја  
-Вода

**Везивање:**  
2.71kgCO<sub>2eq</sub>

3kg Везиво → 125km

1.5kg Поздер → 125km

0.34kg Дрво → 125km

90kg Вода →

Израдња функционалне јединице

1m<sup>2</sup> Зид од бетона од конопље и креча (Функционална јединица А)

5.33kg Отпада → 20km

4.62kg Палета → 20km

Емисије у ваздух, воду и земљиште

Калцинација 1.39kgCO<sub>2eq</sub>

**Фаза изградње (А4-А5)**

Карбонатизација везива

**Фаза коришћења (Б1-Б7)**

Животни век 100 година

Ружење зида и раздвајање отпада

20km → 6.75kg Сагоревање дрвене грађе

125km → 96.25kg Дробљење и мрвљење бетона од конопље и креча

9.625kg Отпад → 20km

Емисије у ваздух, воду и земљиште

**Фаза одлагања (Ц1-Ц4)**

Енергија

10.78kgCO<sub>2eq</sub>

86.625kg Агрегат за рециклирање

Слика 5.3: Животни циклус функционалне јединице А

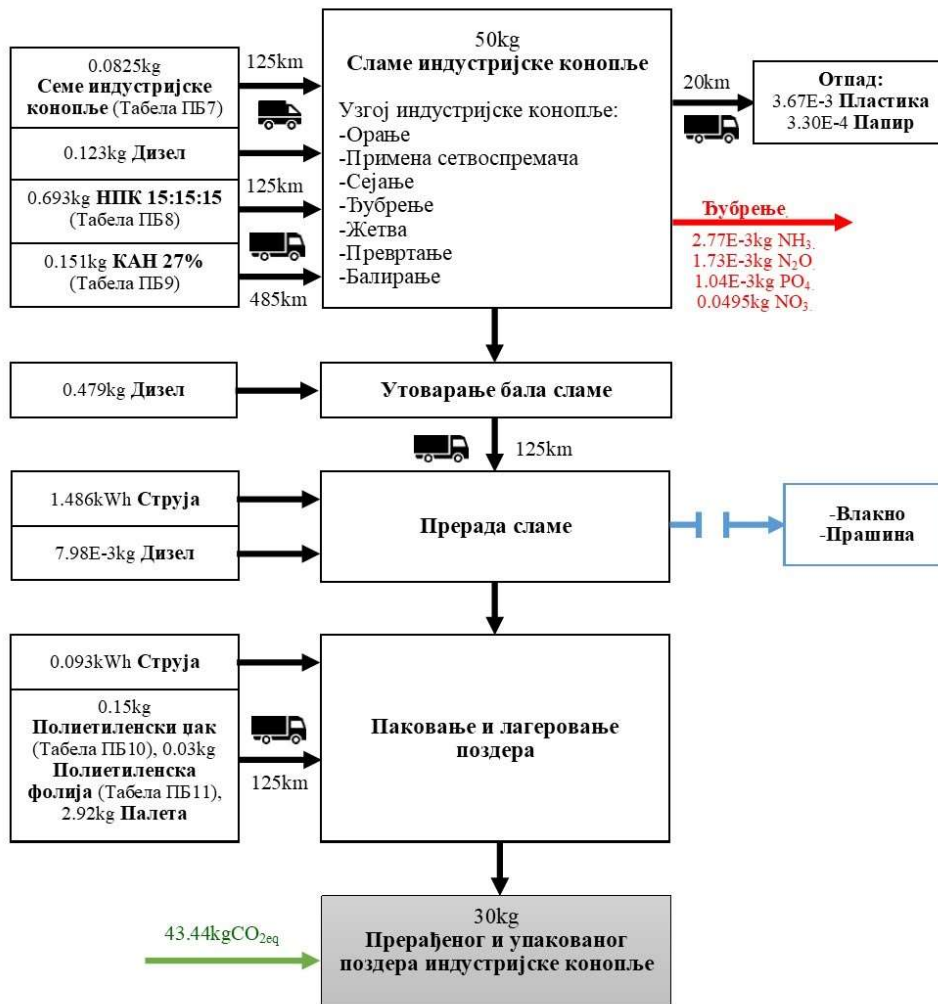
### **5.3.1 Фаза производње: Основна функционална јединица А и сценарији П и О (А1-А3)**

Фаза производње (Прилог Табела ПБ1) узима у обзир процесе извлачења, превоза и прераде сировина у склопу производње поздера, везива и дрвене грађе. Производња поздера у Србији је тренутно ограничена, док производња везива за бетон од конопље и креча није успостављена. Пошто у Србији има више произвођача минералних везива, инфраструктура за производњу везива постоји. Како би се испитала еколошка исправност производње бетона од конопље и креча у Србији, функционална јединица А представља теоретски сценарио који претпоставља производњу свих основних материјала у Србији. Пошто директно преузимање података од произвођача поздера и везива у Србији није могуће, а постојећа научна истраживања и еколошке декларације производа од бетона од конопље и креча не помињу инфраструктуру и губитке материјала у фази производње, еколошки утицаји изградње и одржавања инфраструктуре и губици материјала током фазе производње се неће узети у обзир. Губици материјала су узети у обзир у склопу фазе изградње.

#### **5.3.1.1 Производња поздера индустријске конопље**

У склопу истраживања узима се у обзир узгој и примена домаће сорте Хелена. За производњу поздера индустријске конопље, примењује се алокација еколошких утицаја по маси. Стабло Хелене садржи 28-32% влакна (Sikora 2016). Сагласно сценарију прераде у извештају де Беус и Пјотровски (de Beus & Piotrowski 2017), дефинисано је да је производња поздера заслужна за 55% еколошких утицаја асоцираних са узгојем и прерадом индустријске конопље, док су производња влакна и прашине доприносе 30%, односно 15% еколошких утицаја. За функционалну јединицу А претпоставља се просечан принос сламе Хелене од 10t/ha. У зависности од режима узгоја принос сламе може да варира од 5 до 15t/ha (Sikora 2016). За сценарио П<sub>пик</sub> се дефинише принос сламе од 7.5t/ha, док се за сценарио О<sub>пик</sub> дефинише принос од 12.5t/ha, што у првом случају представља испод просечан, а у другом случају надпросечан принос у режиму за производњу влакна. Анализа инвентара за производњу поздера индустријске конопље је приказана у Табели ПБ6 (Прилог Б). По препоруци Института за ратарство и повртарство (НСсеме), за режим производње влакна се сеје 50kg семена Хелене по хектару (NSseme n.d.). Анализа инвентара за процес производње семена је приказана у Табели ПБ7 (Прилог Б) и Слици 5.4. Приноси код режима за узгој семена су 1t зрна и 5t сламе по хектару. Стога се код агрономских процеса узгоја семена само 16.7% еколошких утицаја алоцира по маси самој производњи семена. Узгој биљака за производњу семена и прерада семена се одвијају у склопу департмана за алтернативне културе Института за ратарство и повртарство у Новом Саду (НСсеме). Агрономски поступци за узгој индустријске конопље за зрно су слични као и при узгоју сламе, али се завршавају након вршења семена комбајном. На основу потрошње горива у релевантним процесима у *Ecoinvent* бази података претпоставља се потрошња дизела од 83.2kg/ha.

Зрно се потом превози трактором до прерађивачког погона, где се прерађује и пакује у папирне џакове.



Слика 5.4: Анализа инвентара за производњу поздера индустријске конопље

Семе се превози 125km, лаким комерцијалним возилом, од Института у Бачком Петровцу до имања. Припрема земљишта пред сетву подразумева орање и уситњавање земљишта сетвоспремачем. Ђубриво се наноси расипачем и може се применити и пре и после сетве. На основу препорука Института за ратарство и повртарство дефинише се примена 80kg азота (*N*), 60kg фосфата (*P*) и 60kg калијума (*K*) по хектару (лична комуникација). За постизање препоручене прихране, неопходно је

применити 400kg *NPK 15:15:15* и 80kg калцијум амонијум нитрата (*KAN 27%*)<sup>41</sup>. Жетва се врши тракторском косачицом. Слама се оставља у пољу око две недеље како би започео процес деградације и одвајања влакна од поздера. Током овог периода слама се два пута преврће превртачем сена. Слама се потом балира и оставља на њиви до утовара за слање у прерађивачки погон. Укупна потрошња дизела (74.69kg/ha за све агрономске процесе) се преузима из просечног сценарија за узгој сламе из истраживања де Беус и Пјотровски (de Beus & Piotrowski 2017). Слама се превози 125km до прерађивачког погона (>32t *EURO 5*) где се влакно раздваја од поздера. Пошто прашина која остане након раздвајања влакна и поздера може да се претвори у pellet и стога се не третира као отпад, превоз и депоновање прашине се не узима у обзир. За велики прерађивачки погон су преузети подаци из извештаја Де Беус и Пјотровски (de Beus & Piotrowski 2017). Претпоставља се просечан сценарио прераде од 3.33t сламе на сат који захтева 300kWh<sup>42</sup>.

Табела 4.10 указује на садржај угљеника 41.33% до 47.4% у поздеру. Стога се претпоставља да поздер у функционалној јединици А има просечан садржај угљеника од 44.37%, што при садржају влаге од 11%, резултује у фактору везивања CO<sub>2</sub> од 1.448 kgCO<sub>2eq</sub>/kg поздера. За сценарио П<sub>су</sub> се користи доњи садржај угљеника (41.33%) и фактор везивања CO<sub>2</sub> од 1.349kgCO<sub>2eq</sub>/kg поздера, док се у сценарију О<sub>су</sub> користи горњи садржај угљеника (47.4%) и фактор везивања CO<sub>2</sub> од 1.547kgCO<sub>2eq</sub>/kg поздера.

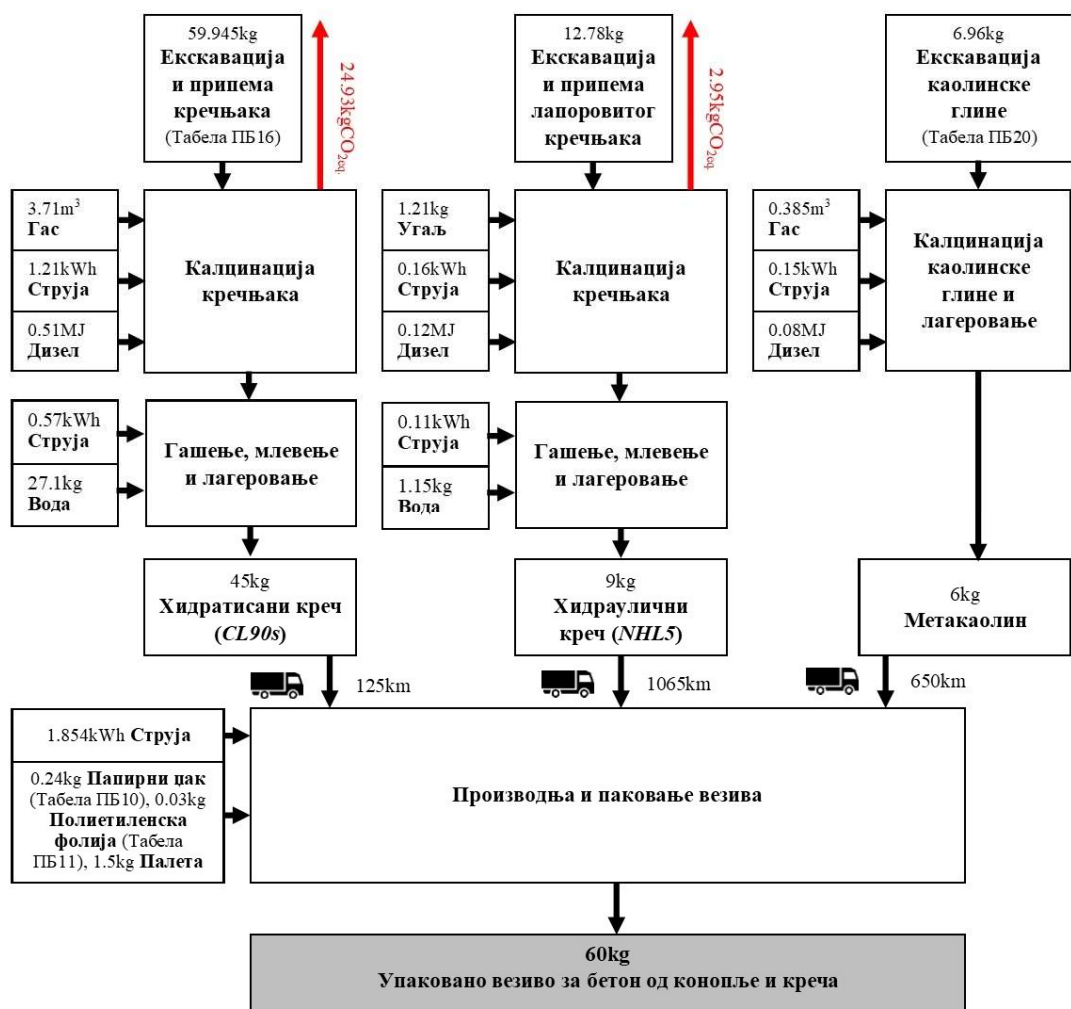
---

<sup>41</sup> Узима се у обзир примена додатних 5% ђубрива (20kg НПК 15:15:15 и 4kg КАН 27%) како би се обухватили потенцијални губици приликом превоза или неправилне апликације. У Србији тренутно постоји само једно активно постројење за производњу минералног ђубрива, те се НПК 15:15:15 (Прилог Б Табела ПБ8) превози 125km камионом (16-32t *EURO 5*) од произвођача у Србији, док се КАН 27% (Прилог Б Табела ПБ9) превози просечно 390km камионом (>32t *EURO 5*) из Хрватске или Мађарске до дистрибутера и затим још 125km камионом (7.5-16t *EURO 5*) до њиве. Узимају се у обзир додатне емисије штетних супстанци у ваздух и воду, које настају као резултат примене ђубрива. Користе се фактори који су описани у значајном делу литературе (van der Werf 2004, Boutin et al. 2006, van der Werf & Turunen 2008, Pretot, Collet & Garnier 2014 и Sinka et al. 2018). Подразумева се емисија 0.02kg амоније (NH<sub>3</sub>) и 0.0125kg азот субоксида (N<sub>2</sub>O) по килограму примењеног азота, 0.01kg фосфата (PO<sub>4</sub>) по килограму фосфата и укупно 30kg нитрата (PO<sub>3</sub>).

<sup>42</sup> Након прераде поздер се пакује у полиетиленске џакове (Прилог Б Табела ПБ10), палетира и складишти. Производња џакова и фолије (Прилог Б Табела ПБ11) за облагање палета је узета у обзир, али производња дрвених палета није, пошто оне имају велики потенцијал да уђу у производни систем као рециклиран ресурс.

### 5.3.1.2 Производња везива

Претпоставља се производња композитног везива у Србији које је по свом саставу базирано на комерцијалном везиву *Tradical PF70*. Везиво садржи хидратисани креч *CL90s* (75%), природни хидраулични креч *NHL5* (15%) и метакаолин (10%). Хидратисани креч који има највећи удео у саставу композитног везива је доступан у Србији, али би природни хидраулични креч морао да се увози из Италије, а метакаолин из Бугарске. Метакаолин је изабран као пуцолан, пошто је примењен у везиву за бетон од конопље и креча у многим експерименталним истраживањима. Метакаолин је такође интересантан пуцолан пошто су Илић, Митровић и Миличић (2010) приказали да су каолинске глине у Србији погодне за производњу метакаолина. Стога постоји могућност за успостављање комерцијалне производње метакаолина у Србији у будућности. Анализа инвентара за производњу везива је приказана у Табели ПБ15 (Прилог Б) и Слици 5.5.



Слика 5.5: Анализа инвентара за производњу везива за бетон од конопље и креча

Хидратисани креч се производи у Србији користећи домаћи кречњак. Анализа инвентара за процесе производње хидратисаног креча је приказана у Прилогу Б у табелама ПБ16, ПБ17 и ПБ18. Производња хидратисаног креча почиње извлачењем, дробљењем и прањем кречњака. Два значајна произвођача хидратисаног креча у Србији поседују регенеративну пећ са паралелним током (*PFR kiln*) које користе природни гас као основно гориво за калцинацију (Сопић 2015, Maerz Ofenbau 2019). Здробљени кречњак се пече на температурама од 900 - 1200°C. На основу просечних података за потрошњу пећи, примењује се 3.67MJ (875kcal енергије) и 0.035kWh струје за производњу 1kg живог креча (Maerz Ofenbau n.d.). Келенбергер и др. (Kellenberger et al. 2007) указују да је потребно пећи 1.73kg смрвљеног кречњака, да би се добио килограм живог креча. Стационарно сагоревање природног гаса директно испушта штетне материје у атмосферу. Примењени фактори емисија штетних материја, релевантних за анализиране еколошке показатеље, приказани су у Табели ПБ23 (Прилог Б). Емисије CO<sub>2</sub> услед калцинације кречњака се рачунају формулом (9):

$$E_{CO_2} = M_K \cdot M_{CaCO_3} \cdot \frac{MM_{CO_2}}{MM_{CaCO_3}} \quad (9)$$

где су:

$E_{CO_2}$ : емисије CO<sub>2</sub> услед калцинације кречњака

$M_K$ : маса кречњака (1.73kg)

$M_{CaCO_3}$ : удео CaCO<sub>3</sub> у 1kg кречњака (0.945kg)

$MM_{CO_2}$ : моларна маса CO<sub>2</sub> (44g/mol)

$MM_{CaCO_3}$ : моларна маса CaCO<sub>3</sub> (100g/mol)

Претпоставља се да кречњак садржи 94.5% калцијум карбоната (Kellenberger 2007) и да се приликом производње једног килограма живог креча испусти 0.719kgCO<sub>2</sub> услед калцинације. Производња једног килограма хидратисаног креча захтева 0.77kg живог креча, 0.0127kWh електричне енергије 0.6kg воде за гашење, млевење и лагеровање (Kellenberger 2007). Стога производња једног килограма хидратисаног креча директно испусти 0.554kgCO<sub>2</sub> услед калцинације кречњака. Природни хидраулични креч се не производи у Србији и мора се увозити. Претпоставља се увоз од једног од многобројних произвођача из Северне Италије. Анализа инвентара за производњу хидрауличног креча је приказана у Табели ПБ19 (Прилог Б). Према Келенбергер и др. (Kellenberger 2007), потребан је унос од 1.42kg кречњачког лапора за производњу једног килограма природног хидрауличног креча. Здробљени камен се пече у вертикалној пећи на температурама од 950-1050°C, користећи мрки угаљ за гориво. Производња једног килограма хидрауличног креча захтева 3.35MJ (800kcal) енергије (Livesey 2008). Претпоставља се потрошња струје од 0.018kWh на основу доње границе потрошње струје у вертикалним пећима (Schorcht et al. 2013). На основу просечних

минералošких вредности, претпоставља се да камен садржи 70% CaCO<sub>3</sub> (Kellenberger 2007) и да коначни хидраулични креч садржи 25% непеченог CaCO<sub>3</sub> (Escadeilles et al. 2013). Користећи формулу (10) утврђује се да калцинација испусти 0.327kgCO<sub>2</sub> по килограму хидрауличног креча.

$$E_{CO_2} = (M_K \cdot M_{CaCO} - N_{CaCO_3}) \cdot \frac{MM_{CO_2}}{MM_{CaCO}} \quad (10)$$

где су:

E<sub>CO<sub>2</sub></sub>: емисије CO<sub>2</sub> услед калцинације кречњака

M<sub>K</sub>: маса кречњака (1.42kg)

M<sub>CaCO<sub>3</sub></sub>: удео CaCO<sub>3</sub> у 1kg кречњака/лапор (0.7kg)

N<sub>CaCO<sub>3</sub></sub>: непечени CaCO<sub>3</sub> у 1kg хидрауличног креча (0.25kg)

MM<sub>CO<sub>2</sub></sub>: моларна маса CO<sub>2</sub> (44g/mol)

MM<sub>CaCO<sub>3</sub></sub>: моларна маса CaCO<sub>3</sub> (100g/mol)

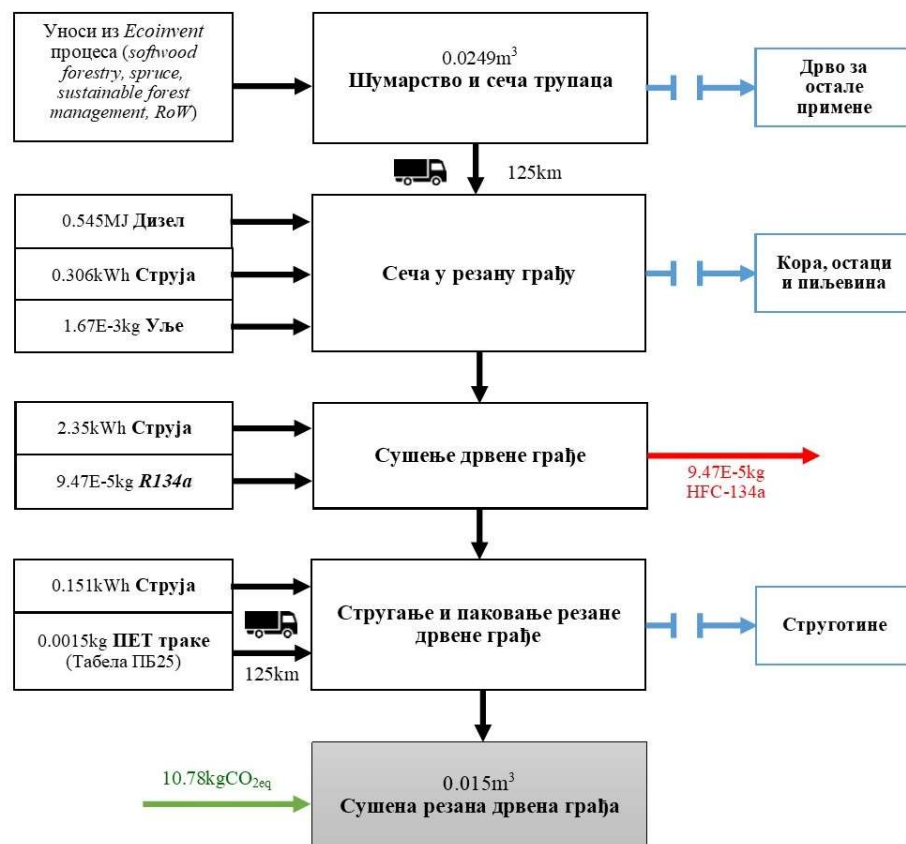
Стационарно сагоревање мрког угља директно испушта штетне материје у атмосферу. Примењени фактори емисија релевантних штетних материја приказани су у Табели ПБ24 (Прилог Б). Претпоставља се иста потрошња струје за гашење, млевење и лагровање хидрауличног креча као и за хидратисани креч (Kellenberger et al. 2007).

С обзиром да још увек не постоји комерцијална производња метакаолина у Србији, за потребе овог истраживања претпоставља се увоз метакаолина из Бугарске. Анализа инвентара за производњу метакаолина је приказана у Табели ПБ21 (Прилог Б). Потребни су уноси од 1.16kg каолинске глине и 2.5MJ енергије за производњу једног килограма метакаолина (Heath et al. 2014). Потрошња струје је базирана на процесу за калцинацију глине из *Ecoinvent* базе података. Каолинска глина преваходно садржи алуминосиликатни минерал каолинит, док метакаолин садржи веома малу количину СаО, те се директне емисије CO<sub>2</sub> приликом калцинације могу сматрати занемарљивим.

Сировине за производњу везива се превозе камионом, на велико, до произвођачког погона за везиво у Србији. Хидратисани креч се превози 125km (>32t, *EURO 5*), хидраулични креч се превози укупно 1065km (>32t, *EURO 5*) и метакаолин се превози укупно 650km (>32t, *EURO 5*). Сировине се мешају и пакују у папирне џакове од 25kg и палетирају. Потрошња струје за производњу везива је дефинисана на основу процеса за производњу кречног малтера и паковање производа од креча из *Ecoinvent* базе података.

### 5.3.1.3 Производња сушене резане грађе

За конструктивни систем се примењује меко дрво попут смреке из локалног извора. Анализа инвентара за производњу резане грађе је приказана у Табели ПБ24 (Прилог Б) и Слици 5.6. Подаци за процесе у шуми, резања и стругања грађе су преузети из *Ecoinvent* базе података и прилагођени за потрошњу струје у Србији. Пре стругања дрво се суши у кондензационој сушари са погоном на топлотну пумпу. Према просечној потрошњи струје, у сушарама произвођача из Србије, процес сушења захтева  $150\text{kWh/m}^3$  дрвене грађе (Nigos n.d.).<sup>43</sup> Рад топлотне пумпе подразумева и емисију гаса *HFC-134a* услед примене расхлађивача *R134a*. Дрво се не третира или импрегнира пошто бетон од конопље и креча пружа заштиту од штеточина и спољашњих услова. Након стругања дрвена грађа се повезује ПЕТ тракама и лагерије. Претпоставља се просечан садржај угљеника смреке од 49.5% и садржај воде од 12%. Користећи формулу (7) изналази се да дрвена грађа везује  $1.597\text{ kgCO}_{2\text{eq}}/\text{kg}$ .



Слика 5.6: Анализа инвентара за производњу сушене резане дрвене грађе

<sup>43</sup> Просечна потрошња струје у аутоматизованој кондензационој сушари са топлотном пумпом (типична потрошња од  $100\text{-}200\text{kWh/m}^3$  дрвене грађе).



### 5.3.2 Фаза изградње: Основна функционална јединица А и сценарији П и О (А4-А5)

Поздер индустријске конопље, дрвена грађа (7.5-16t, *EURO 5*) и везиво (16-32t, *EURO 5*) се превозе 125km од произвођача до локације (Прилог Б Табела ПБ2). У сценарију П<sub>РП</sub> примењује се дужа просечна раздаљина превоза од 180km, док се у сценарију О<sub>РП</sub> примењује краћа просечна раздаљина превоза од 70km. Анализа инвентара за изградњу објекта је приказана у Табели ПБ3 (Прилог Б). Бетон од конопље и креча се формира мешањем поздера и везива са 90kg воде. Према дефинисаној потрошњи струје од 4kWh/m<sup>3</sup> бетона од конопље и креча (Ip & Miller 2012, Sinka et al. 2018), мешање сировина за функционалну јединицу А захтева 1.1kWh струје. Смањивање грађевинског отпада током фазе изградње зависи од добре праксе приликом превоза сировина и изградње. Примењује се степен отпада од 5%, на основу препорука Холандске националне еколошке базе података (Nationale Milieudatabase 2022), за *in situ* грађевинске материјале. У животном циклусу функционалне јединице А, неопходно је произвести додатних 1.5kg поздера, 3kg везива и 0.338kg дрвене грађе. Производња и превоз додатних сировина за надомештање грађевинског отпада се приписује фази изградње. Изградња функционалне јединице такође иза себе оставља 4.4kg палета, 0.25kg папирног и 0.24kg пластичног амбалажног отпада. Палете се превозе 20km камионом (3.5-7.5t, *EURO 5*) до оближњег стоваришта за поновну употребу, док се грађевински и амбалажни отпад превозе 20km камионом (7.5-16t, *EURO 5*) до депоније. Инфраструктура за управљање отпадом у Србији је недовољно развијена, па су нехигијенске и отворене депоније честа појава широм земље. До краја 2021. године изграђено је само 10 од планираних 26 регионалних санитарних депонија у складу са ЕУ стандардима. У употреби је више од 120 несанитарних општинских депонија и преко 3500 дивљих депонија, те је само 19% комуналног отпада одложено на санитарним депонијама 2020. године (МЗЖС РС 2022). Пошто се већина отпада у Србији и даље превасходно одлаже на несанитарним депонијама, претпоставља се да се отпад настао у фази изградње одлаже на несанитарну депонију. По узору на досадашња истраживања процене животног циклуса бетона од конопље и креча сценарио О<sub>ГО</sub> ће претпоставити стварање 0% отпада, док ће сценарио П<sub>ГО</sub> претпоставити лошу праксу и степен стварања отпада од 10%.

Поздер и дрвена грађа који заврше као отпад такође везују CO<sub>2</sub>, али и испуштају гасове стаклене баште приликом разградње. Разграђени органски угљеник типично испусти 40-50% CO<sub>2</sub> и 50-60% метана (CH<sub>4</sub>) (Oonk 2012). Укупне емисије CH<sub>4</sub> (E<sub>CH<sub>4</sub></sub>) се рачунају на основу IPCC методе (Pipatti et al. 2006), користећи формулу (11). Формула (12) се користи за рачунање максималне емисије CH<sub>4</sub>, док се формула (13) користи за рачунање прикупљеног CH<sub>4</sub>.

$$E_{CH_4} = [(M_T \cdot M_F \cdot MCF \cdot DOC \cdot DOC_f \cdot F \cdot \frac{MM_{CH_4}}{MM_C}) - R_{CH_4}] \cdot (1 - OX) \quad (11)$$

$$M_{CH_4} = M_T \cdot M_F \cdot MCF \cdot DOC \cdot DOC_f \cdot F \cdot \frac{MM_{CH_4}}{MM_C} \quad (12)$$

$$R_{CH_4} = CE \cdot M_{CH_4} \quad (13)$$

где је:

$M_T$ : укупна генерисана маса отпада

$M_F$ : фракција отпада која се распада (ФЈ – А за рачунање дрвенасте материје: 1)

$MCF$ : фактор корекције  $CH_4$  (ФЈ А - *IPCC* стандардна вредност за недефинисану депонију: 0.6)

$DOC$ : разградив органски угљеник (ФЈ А –  $0.89 \cdot 0.44 = 0.3916$  поздер,  $0.88 \cdot 0.495 = 0.4356$  дрвена грађа)

$DOC_f$ : фактор разграђеног органског угљеника (ФЈ А - 0.23 поздер, 0.1 дрвена грађа)

$F$ : фракција  $CH_4$  у гасу (ФЈ А - 0.5)

$MM_{CH_4}$ : моларна маса  $CH_4$  (16g/mol)

$MM_C$ : моларна маса угљеника (12g/mol)

$M_{CH_4}$ : максималне емисије  $CH_4$

$R_{CH_4}$ : скупљен  $CH_4$  (ФЈ А – 0)

$OX$ : фактор оксидације (ФЈ А - *IPCC* стандардна вредност: 0)

$CE$ : ефикасност система за скупљање гасова стаклене баште

Према *IPCC* методологији (Piratti et al. 2006) за рачунање емисија гасова стаклене баште из депонија, претпоставља се да се 50% угљеника испусти као  $CH_4$  и 50% као  $CO_2$ . Фактор корекције метана (*MCF*) означава услове у којима се разградња одвија, где вредност од 1 представља добро управљану депонију у којој се отпад организује и разградња се одвија у превасходно анаеробним условима. За распадање отпада у контексту Србије користиће се стандардна вредност од 0.6 из *IPCC* препорука (Piratti et al. 2006), која означава распадање у депонији без строгог управљања у делимично аеробним условима. Количина разградивог угљеника (*DOC*) се рачуна множењем садржаја угљеника у сувој материји са фракцијом суве материје. Фактор разграђеног органског угљеника (*DOC<sub>f</sub>*) означава која количина угљеника ће се разградити. Стандардна вредност дефинисана у *IPCC* методологији је 0.5 или 50%, али многа истраживања указују на ниже вредности. Подаци из *Ecoinvent* базе података за депоновање дрвета претпостављају степен разградње органског угљеника од 1.5% у периоду од 100 година након депоновања, што се поклапа са претпоставком од 0-3% у истраживању Микалес и Скога (Micales & Skog 1997). Значајно нижи степени распадања дрвета и дрвених производа су такође измерени у експерименталним

истраживањима. Лабораторијском симулацијом услова на депонији, Ванг и др. (Wang et al. 2011) изналазе степен разградње од 1.8% за резану грађу од смреке, 0.1% за резану грађу од бора и 7.8% за резану грађу од црвеног храста. У другом лабораторијском истраживању (Wang & Barlaz 2016), изнађени су степени деградације од 0-9.5% за самлевене гране две различите врсте бора и 17.1-28.5% за две различите врсте храста. Ксименес и др. (Ximenes et al. 2015) су пронашли сличне резултате у депонијама у две различите климатске зоне у Аустралији. Узорци су били закопани у депонији између 16 и 44 година. Узорак смреке је имао степен разградње од 1.8%, док су узорци бора имали степен разградње од 4.4 до 7.8%. Ванг и др. (Wang et al. 2013) су испитивали узорке дрвета закопане у санитарној депонији и нису пронашли знаке деградације у узорцима меког и тврдог дрвета након 1.5-2.5 година. Иако многе државе попут Холандије користе стандардни *IPCC* степен разградње угљеника од 50%, на основу постојећих експерименталних истраживања може се аргументовати да је та вредност сувише висока.

Од истраживања о животном веку бетона од конопље и креча Си (Sié 2018) и Леонар и Гросламвер (Léonard & Gros Lambert 2021) узимају у обзир деградацију поздера и користе  $DOC_F$  од 15% који је дефинисан у Француској конвенцији за производе од дрвета. Агенција за еколошку заштиту САД (*U.S. Environmental Protection Agency, EPA*) је дефинисала  $DOC_F$  од 23% који је присвојила и Влада Аустралије у свом националном инвентару за емисије гасова стаклене баште (Ximenes et al. 2015). Фактор је дефинисан на основу експерименталног истраживања Барлаза (Barlaz 1998), где је  $DOC_F$  од 23% изнађен у лабораторији користећи недефинисане самлевене гране. Међутим на основу накнадних експерименталних истраживања Аустралијска Влада је спустила  $DOC_F$  дрвета на 10% (Australian Government 2021). Ванг и др. (Wang et al. 2011) и Ксименес и др. (Ximenes et al. 2015) указују да многи фактори попут амбијенталних услова у којима се разградња одвија, односа лигнина и холоцелулозе у биљци, типа лигнина, количине и типа растворљивих компонензи утичу на степен разградње угљеника у дрвету. Поздер индустријске конопље има нижи садржај лигнина и виши однос целулозе према лигнину од испитаних узорака меког дрвета у истраживањима Ванг и др. (Wang et al. 2011), Ванг и др. (Wang et al. 2013) и Ксименес и др. (Ximenes et al. 2015), те се може претпоставити да би степен распадања поздера био виши него за дрвену грађу. Хемијски састав је заправо приближнији узорцима тврдог дрвета из тих истраживања. Степен распадања поздера индустријске конопље није експериментално испитиван, али на основу експерименталних истраживања може се претпоставити да би  $DOC_F$  поздера индустријске конопље био нижи од стандардне *IPCC* вредности од 50%. Стога за распадање дрвене грађе од меког дрвета користиће се  $DOC_F$  од 10%, док ће се за поздер индустријске конопље применити  $DOC_F$  од 23%.

За фактор оксидације  $\text{CH}_4$  користи се стандардна *IPCC* вредност од 0, пошто је оксидација  $\text{CH}_4$  у земљишту вероватнија у добро управљаним и покривеним депонијама. Претпоставља се да депонија на којој ће отпадни материјали завршити неће имати систем за скупљање гасова стаклене баште. Укупне емисије  $\text{CO}_2$  се могу израчунати користећи формулу (14) која узима у обзир емисије  $\text{CO}_2$  услед распадања дрвета, оксидације  $\text{CH}_4$  и сагоревања сакупљеног метана  $\text{CH}_4$ .

$$E_{\text{CO}_2} = M_T \cdot M_F \cdot MCF \cdot DOC \cdot DOC_f \cdot F_{\text{CO}_2} \cdot \frac{MM_{\text{CO}}}{MM_C} + OX(M_{\text{CH}_4} - R_{\text{CH}_4}) \cdot \frac{MM_{\text{CO}_2}}{MM_{\text{CH}_4}} + R_{\text{CH}_4} \cdot DE \cdot \frac{MM_{\text{CO}}}{MM_{\text{CH}_4}} \quad (14)$$

Где је:

$F_{\text{CO}_2}$ : фракција  $\text{CO}_2$  у гасу (ФЈ А - 0.5)

DE: ефикасност уништавања  $\text{CH}_4$  (ФЈ А - 0)

Укупни утицај распадања дрвета ( $GWP_T$ ) на потенцијал глобалног загревања се рачуна користећи формулу (15). Према *CML-IA* факторима карактеризације 1kg  $\text{CH}_4$  једнак је 28kg $\text{CO}_{2\text{eq}}$ . ( $CF_{\text{CH}_4}$ ). Распадање поздера у фази изградње испусти 1.117kg $\text{CO}_{2\text{eq}}$ /kg поздера, док распадање дрвене грађе испусти 0.536kg $\text{CO}_{2\text{eq}}$ /kg дрвета.

$$GWP_T = CF_{\text{CH}_4} \cdot E_{\text{CH}_4} + E_{\text{CO}_2} \quad (15)$$

### 5.3.3 Фаза коришћења: Основна функционална јединица А и сценарији П и О (Б1-Б7)

У фази коришћења само се узима у обзир карбонатизација везива, пошто се на основу постојећих истраживања сматра да зид од бетона од конопље и креча неће захтевати обнову или одржавање током животног века од 100 година. Претпоставља се да ће у периоду од 100 година,  $\text{CO}_2$  моћи да продре кроз целу дебљину зида, што би омогућило максимални теоретски степен карбонатизације. Степен карбонатизације се може дефинисати као удео  $\text{CO}_2$  испуштеног приликом калцинације, који се током животног века материјала везује за  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  да формира  $\text{CaCO}_3$ . Уколико се очекивани степен карбонатизације не постигне током фазе коришћења, постоји велика шанса да се може финализовати на крају животног века када се материјал здружи, чиме се повећава површина материјала у директном контакту са ваздухом. Фактори карбонатизације везива су дефинисани на основу постојећих процена животног циклуса бетона од конопље од конопље и креча. Укупни фактор карбонатизације ( $FK$ ) везива се рачуна формулом (16).

$$FK = (M_{HK} \cdot K_{HK} \cdot S_{HK}) + (M_{PHK} \cdot K_{PHK} \cdot S_{PHK}) \quad (16)$$

$M_{HK}$ : удео хидратисаног креча у килограму везива (0.75)

$K_{HK}$ : емисије  $CO_2$  по килограму хидратисаног креча приликом калцинације (0.554kg $CO_2$ )

$S_{HK}$ : степен карбонатизације хидратисаног креча

$M_{PHK}$ : удео природног хидрауличног креча у килограму везива (0.15)

$K_{PHK}$ : емисије  $CO_2$  по килограму природног хидрауличног креча приликом калцинације (0.327kg $CO_2$ )

$S_{PHK}$ : степен карбонатизације природног хидрауличног креча

Табела 5.5 приказује степен карбонатизације примењен за хидратисани креч и хидраулични креч и коначне факторе карбонатизације везива у функционалној јединици А и сценаријима П и О.

Табела 5.5: Примењени фактор карбонатизације везива у функционалној јединици А и сценаријима П и О

Сценарио	Степен карбонатизације хидратисаног креча (%)	Степен карбонатизације природног хидрауличног креча (%)	Фактор карбонатизације везива (kg $CO_2$ / kg везива)
П/П <sub>КАР</sub>	75	40	0.331
А	82.5	50	0.367
О/О <sub>КАР</sub>	90	60	0.403

Коначни фактор карбонатизације везива износи 0.367kg $CO_2$ /kg везива, за функционалну јединицу А, 0.331kg $CO_2$ /kg везива у сценарију П<sub>КАР</sub> и 0.403kg $CO_2$ /kg везива у сценарију О<sub>КАР</sub>. Узима се у обзир и делимична карбонатизација везива које заврши као отпад током изградње функционалне јединице. Као отпад, везиво има велику површину у директном контакту са спољашњом средином, али је тешко дефинисати амбијенталне услове у којима би се нашло пре и после одлагања. Еранс и др. (Erans et al. 2020) утврђују да узорак хидратисаног креча може да достигне степен карбонатизације од 50% за 168 сати у унутрашњим амбиенталним условима. Стога ће се узети у обзир само карбонатизација хидратисаног креча са степеном карбонатизације од 50%. Везиво које заврши као отпад везује 0.208kg $CO_2$ /kg у свим сценаријима.

#### 5.3.4 Фаза одлагања: Основна функционална јединица А и сценарији П и О (Ц1-Ц4)

Фаза одлагања садржи више неизвесности. Генерална неизвесност постоји услед потенцијалног развоја нових стратегија и технологија за управљање отпадом у наредних 100 година. Две основне непознанице на крају животног века бетона од конопље и креча су најнефективније стратегије за

рециклирање материјала и инертност или разградивост материјала уколико се депонује. Услед недостатка података о разградњи бетона од конопље и креча на крају животног века и ради контекстуализације резултата са постојећим научним истраживањима о животном циклусу бетона од конопље и креча, претпоставиће се да бетон од конопље и креча у функционалној јединици А и сценаријима П и О остаје инертан на крају животног века. Основна стратегија одлагања подразумева смањивање депонованог отпада. Стога се дрвена грађа сагорева ради добијања топлотне енергије, док се бетон од конопље и креча рециклира као агрегат.

Анализа инвентара за фазу одлагања је приказана у Табели ПБ5 (Прилог Б). Функционална јединица се руши багером и бетон од конопље и креча и дрвена грађа ручно одвајају и шаљу у два различита постројења. Претпоставља се унапређење инфраструктуре за управљање отпадом у Србији у наредних 100 година, па се дрвена грађа превози 20km камионом (16-32t, *EURO 6*) до регионалног центра за спаљивање отпада, где се спаљује. Ово резултује у емисији иницијално везаног CO<sub>2</sub> (10.780kgCO<sub>2</sub>) и производњи енергије која долази без оптерећења у неки други производни систем. Бетон од конопље и креча се превози 125km камионом (>32t, *EURO 6*) до центра за рециклажу, где се дробе и припрема за даљу употребу као рециклирани агрегат. Еколошки утицаји припреме материјала за рециклажу су базирани на јединичном процесу за прераду отпадног неармираног бетона из *Ecoinvent* базе података. У Европској Унији 2018. године<sup>44</sup> 90% од сортираног грађевинског отпада је рециклирано или поново употребљено, док је 2020. године ова вредност износила 89% (Eurostat 2023). Стога се претпоставља да ће 90% бетона од конопље и креча бити спремно за рециклирање, док ће 10% остати неупотребљиво и бити послато на одлагање у регионалну санитарну депонију. Рециклирани бетон од конопље и креча долази без еколошких оптерећења у производни систем за производњу блокова.

---

<sup>44</sup> Састав ЕУ-28 укључујући Уједињено Краљевство 2018. године

#### 5.4 Алтернативни сценарио фазе одлагања (A+FO<sub>DOC/CE</sub>)

Циљ анализа осетљивости у оквиру сценарија A+FO<sub>DOC/CE</sub> је испитивање алтернативних сценарија за крај животног века зида од бетона од конопље и креча. Уколико се бетон од конопље и креча третира као биоразградив грађевински материјал онда је неопходно узети у обзир емисије гасова стаклене баште које ће настати након коначног одлагања материјала. Иако се бетон од конопље и креча рециклира на крају животног века функционалне јединице А, емисије које настају након разградње поздера у будућности се приписују изворном животној циклусу. Литература о животној циклусу указује на неизвесности у крају животног века материјала, али превасходно претпоставља да материјал остаје инертан на крају животног века и да неће доћи до разградње поздера након депоновања. Међутим уколико дође до претераног пада  $pH$  у материјалу, поздер може постати осетљив на биолошку разградњу, поготово ако се материјал ситно смрви и на тај начин површина материјала у контакту са амбијентом значајно порасте или ако је поздер неравномерно обложен везивом. Пошто разградња поздера има највећи утицај на биланс емисије гасова стаклене баште, у сценарију A+FO<sub>DOC/CE</sub> ће се само анализирати показатељ потенцијала глобалног загревања ( $GWP$ ). Све индивидуалне анализе осетљивости у склопу сценарија A+FO<sub>DOC/CE</sub> представљају варијацију функционалне јединице А и сагледавају импликације варијација у фактору разградње органског угљеника ( $DOC_F$ ) и ефикасности система за скупљање гасова стаклене баште са депонија ( $CE$ ).

Алтернативни сценарији фазе одлагања (A+FO<sub>DOC/CE</sub>) подразумевају варирање фазе одлагања функционалне јединице А додавањем емисија гасова стаклене баште услед коначне разградње поздера. Претпоставља се да ће у тренутку коначног одлагања бетона од конопље и креча након 100 и више година, инфраструктура за управљање отпадом у Србији бити развијенија него што је сада и да ће се материјал одложити на санитарну депонију са добрим управљањем и системом за скупљање гасова стаклене баште. Количина испуштених гасова стаклене баште се рачуна користећи формуле (11) до (15). Пошто ће се деградација поздера одвијати у покривеној депонији са добрим управљањем, према *IPCC* препорукама користи се вредност од 1 за фактор корекције метана ( $MCF$ ) и 0.1 за фактор оксидације ( $OX$ ). Пошто подаци за разлагање органског угљеника у поздеру бетона од конопље и креча нису доступни, у овом истраживању испитаће се вредности које се користе за дрвене производе у међународним стандардима и препорукама. За степене разградње органског угљеника ( $DOC_F$ ) испитаће се вредности од 0%, 1.5%, 10%, 15%, 23% и 50%. Ефикасност система за скупљање гасова стаклене баште варира у пракси зависи од доброг управљања депонијом, фазе

рада депоније и типа покривача над отпадом.<sup>45</sup> За ефикасност скупљања  $\text{CH}_4$  (CE) испитаће се вредности од 25%, 50%, 75% и 90%. Ванг, Левис и Барлаз (Wang, Levis & Barlaz 2021) указују на ефикасност уништавања метана (DE) од 99.99%, која се примењује и овом истраживању. Сагоревање  $\text{CH}_4$  резултира емисијом  $\text{CO}_2$  и воде. Сакупљени  $\text{CH}_4$  може одмах да се сагори (*flaring*) како би се избегло директно испуштање у атмосферу или може да се циљано сагори за производњу енергије. Ово сагоревање такође резултира емисијом  $\text{CO}_2$  која се приписује животном циклусу функционалне јединице. Стога се може претпоставити да ће се сакупљени  $\text{CH}_4$  искористити за производњу енергије, која долази без еколошких оптерећења у неки други производни систем.

## 5.5 Еколошки утицај префабрикације бетона од конопље и креча у блокове (Сценарио Б)

*In situ* примена бетона од конопље и креча око рамовског конструктивног система од дрвета представља другачији систем градње од типичне грађевинске праксе у Србији и захтевала би развој нових вештина. Пошто грађевинска пракса у Србији фаворизује примену опекарских блокова у комбинацији са конструктивним системом од армираног бетона, префабрикација бетона од конопље и креча у блокове може бити еколошки одрживија алтернатива постојећој пракси и најједноставнији начин увођења материјала у општу грађевинску праксу.

### 5.5.1 Циљ и обим: Сценарио Б

Основни циљ сценарија Б је поређење еколошког утицаја *in situ* израде бетона од конопље и креча са префабрикацијом у блокове. Функционална јединица А се користи као референтна функционална јединица за дефинисања зидова од блокова од бетона од конопље и креча. Како би се могао проценити еколошки утицај разлика у производним системима, зидови у сценарију Б се дефинишу као  $1\text{m}^2$  зида од блокова од конопље и креча, са животним веком од 100 година, чија се дебљина усваја постизањем коефицијента пролаза топлоте од  $0.30\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ . Блокови имају стандардну висину и ширину (30x60cm), али се дебљине не ограничавају стандардним димензијама како би се у сваком

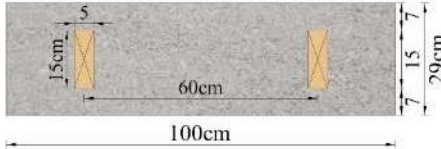
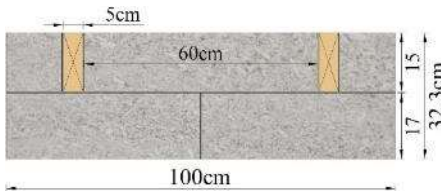
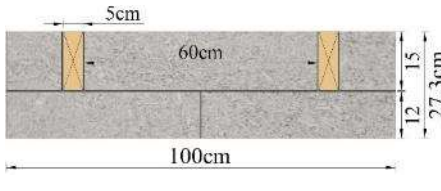
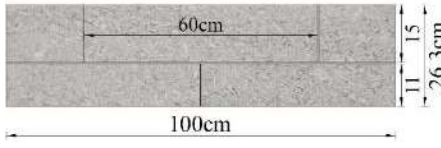
---

<sup>45</sup> Унк (Oonk 2012) указује да су у многим земљама процењене вредности ефикасности система за скупљања гасова стаклене баште биле значајно више од измерених вредности. Он указује на ефикасност од 10 до 80% на активним депонијама, до 90% на затвореним депонијама и од 90 до 100% на савременим затвореним депонијама са коначним покривачем. Стандардна *IPCC* вредност за ефикасност скупљања  $\text{CH}_4$  (CE) је 0-20%, У Великој Британији (Oonk 2012) и САД (U.S. EPA 2008) се претпоставља типична вредност од 75%. У процени животног циклуса типичне депоније у САД, Ванг, Левис и Барлаз (Wang, Levis & Barlaz 2021) указују на типичан *EPA* сценарио у ком систем за скупљање гасова достиже ефикасност од 50% након две године рада, ефикасност од 75% након 5 година рада и коначно ефикасност од 90% при затварању депоније.



сценарију могао постићи коефицијент пролаза топлоте од  $0.30\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ . Применом искључиво стандардних дебљина<sup>46</sup> не би било могуће одржати директну упоредивост са функционалном јединицом А. Сценарији Б<sub>32</sub>, Б<sub>27</sub> и Би приказани у Табели 5.6, анализирају импликације различитих метода примене блокова од конопље и креча

Табела 5.6. Својства сценарија Б<sub>32</sub>, Б<sub>27</sub> и Би у односу на функционалну јединцу А

Сценарио	Бетон од конопље и креча		$U$ ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ )	Поздер (kg)	Везиво (kg)	Малтер (kg)	
	$\rho$ ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	$\lambda$ ( $\text{W}/\text{mK}$ )					
Носећи зидови							
	А	350	0.89	0.300	30	60	/
	Б <sub>32</sub>	350	0.89	0.299	32.9	65.8	21.7
	Б <sub>27</sub>	340	0.71	0.298	27.5	52.3	20
Зид око алтернативног скелетног конструктивног система							
	Би	340	0.71	0.296	28.1	53.3	16.8

Блокови су повезани посебно формулисаним кречно гипсаним малтером, који је нанесен у танким слојевима од 3mm, како би се минимизирали топлотни мостови. У сценаријима Б<sub>32</sub> и Б<sub>27</sub> блокови се слажу у два реда око два дрвена стуба (5x15x100cm) у склопу рамовског конструктивног система

<sup>46</sup> 7.5cm, 9cm, 12cm, 15cm, 25cm, 30cm и 36cm (Isohemp 2022); 8cm, 12cm, 20cm, 25cm, 30cm, 36cm и 40cm (Technocanapa n.d.)

као и у функционалној јединици А. Сценарио Би претпоставља да се блокови користе као испуна у спрези са алтернативним скелетним конструктивним системом, те се дефинише као два реда блокова без конструктивног система од дрвета. Кроз ова три сценарија испитује се примена блокова од бетона од конопље и креча у идентичном конструктивном систему као *in situ* бетон од конопље и креча и испитује се потенцијална предност зидова од блокова од конопље и креча који не захтевају секундарну дрвену конструкцију кад се користе као испуна у носећој скелетној конструкцији.

Бетон од конопље и креча коришћен у блоковима у сценарију Б<sub>32</sub> користи исти однос сировина и има исту густину и топлотну проводљивост као бетон од конопље и креча у функционалној јединици А. Фракција малтера у зиду се рачуна користећи формулу (17) (Anderson 2006).

$$F_{\text{mal}} = 1 - (D_{\text{blok}} \cdot V_{\text{blok}}) / [(D_{\text{blok}} + V_{\text{mal}}) \cdot (V_{\text{blok}} + V_{\text{mal}})] + 0.001 \quad (17)$$

где су:

$F_{\text{mal}}$ : Фракција малтера

$D_{\text{blok}}$ : Дужина блока

$V_{\text{blok}}$ : Висина блока

$V_{\text{mal}}$ : Висина/дебљина малтера

Топлотна проводљивост бетона од конопље и креча израчуната користећи формулу (5) у секцији 5.1.1 износи 0.0894W/mK. Произвођач кречно гипсаног малтера за слагање блокова не декларише топлотну проводљивост произода. Стога се користи топлотна проводљивост кречно-гипсаног малтера из „Правилника о енергетској ефикасности зграда“ која износи 0.7W/mK (МСГИ РС 2011). Користећи формулу (18) изналази се да топлотна проводљивост зида износи 0.1W/mK.

$$\lambda_{\text{zid}} = \frac{\lambda_{\text{blok}}(1 - F_{\text{mal}}) + \lambda_{\text{malter}}F_{\text{mal}}}{1} \quad (18)$$

Како би се постигао коефицијент пролаза топлоте од 0.30W/m<sup>2</sup>K, неопходно је применити два реда блокова око дрвених стубова. Унутрашњи ред блокова од 150mm је постављен између стубова, а

спољашњи ред блокова од 170mm је постављен испред стубова и повезан са унутрашњом конструкцијом користећи малтер и челичне спојнице<sup>47</sup>.

Сценарио Б<sub>27</sub> је у погледу структуре зида аналоган сценарију Б<sub>32</sub> и састоји се од два реда блокова од бетона од конопље и креча постављени око рамовског конструктивног система од дрвета. Међутим бетон од конопље и креча коришћен у сценарију Б<sub>27</sub> има различита физичка својства у односу на бетон од конопље и креча коришћен у функционалној јединици А и сценарију Б<sub>32</sub>. Бетон од конопље и креча коришћен у сценарију Б<sub>27</sub> има нижу топлотну проводљивост услед промене правца сабијања материјала и нижег садржаја везива у мешавини. Физичка својства блокова од конопље и креча у сценарију Б<sub>27</sub> су базирана на својствима блокова истакнутог Белгијског произвођача (Léonard & Gros Lambert 2018). Однос поздера и везива је смањен на 1:1.9 и преузима се топлотна проводљивост од 0.071W/mK. Стога сценарио Б<sub>27</sub> садржи блокове од 150mm постављене између дрвене конструкције и блокове од 120mm постављене испред конструкције са спољашње стране зида. Дебљина од 120mm је стандардна димензија за блокове од бетона од конопље и креча. Бетон од конопље и креча у сценарију Б<sub>и</sub> има иста физичка својства као и бетон од конопље и креча у сценарију Б<sub>27</sub>. Пошто не садржи конструктивни систем од дрвета сценарио Б<sub>и</sub> садржи више поздера и везива. Зид такође има нижу свеукупну топлотну проводљивост те је неопходно применити два реда блокова од бетона од конопље и креча димензија 150mm и 110mm да би се постигао коефицијент пролаза топлоте од 0.30W/m<sup>2</sup>K.

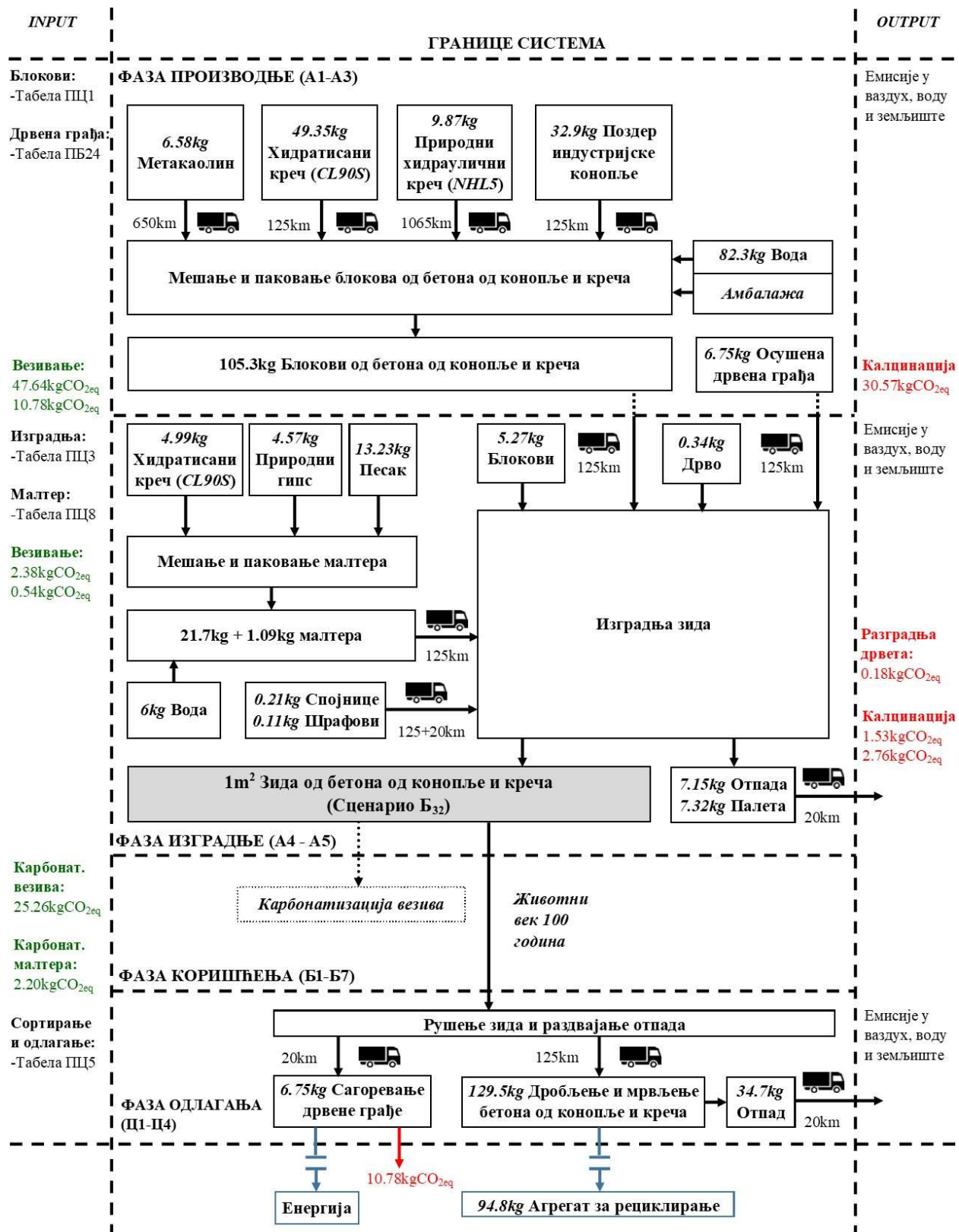
### 5.5.2 Анализа Инвентара: Префабрикација у блокове (Сценарио Б)

Постоје разлике у животном циклусу зида изграђеног од блокова од бетона од конопље и креча и зида израђеног од *in situ* бетона од конопље и креча. Основне разлике су додатни процеси за производњу блокова који припадају фази производње и производња додатних материјала (кречни малтер и челичне спојнице) који припадају фази изградње. Јединични процеси у сценаријима Б<sub>32</sub>, Б<sub>27</sub> и Б<sub>и</sub> су идентични,<sup>48</sup> али се разликују количине уноса услед разлика у конструктивном систему и димензији зидова. Анализа инвентара за животни циклус сценарија Б<sub>32</sub> је приказана у Слици 5.7.

---

<sup>47</sup> Дебљина блока од 150mm је стандардна димензија. Дебљина од 170mm није стандардна димензија и дефинисана је ради постизања дефинисаног коефицијента пролаза топлоте и одржавања упоредивости са функционалном јединицом А.

<sup>48</sup> Анализа инвентара за животни циклус сценарија Б<sub>и</sub> је приказана у Табелама ПЦ12 до ПЦ16



Слика 5.7: Анализа инвентара животног циклуса сценарија Б<sub>32</sub>

### 5.5.2.1 Фаза производње

Анализа инвентара за фазу производње Б<sub>32</sub> је приказана у Табели ПЦ1 (Прилог Ц). Инвентар и еколошки утицаји производње поздера индустријске конопље, хидратисаног креча, хидрауличног креча, метакаолина и дрвене грађе су идентични као и за функционалну јединицу А. Претпоставља се производња блокова у Србији. Поздер (7.5-16t EURO5) и хидратисани креч (>32t EURO5) се превозе 125km камионом до погона за производњу блокова од конопље и креча. Хидраулични креч се превози 1065km камионом (>32t EURO5) из Северне Италије, а метакаолин се превози 650km (>32t EURO5) из Бугарске. Производња блокова укључује прихват и мешање сировина, компресовање смесе и паковање и лагровање готових блокова. Везиво се меша у истим односима као и за функционалну јединицу А (75% хидратисани креч, 15% хидраулични креч и 10% метакаолин). Процес производње захтева 6kWh струје по m<sup>3</sup> блокова од конопље и креча (Léonard & Gros Lambert 2018). Блокови се палетирају и пакују са полипропиленским покривачом, ПЕТ каишевима и картонском заштитом за ћошкове.

### 5.5.2.2 Фаза изградње

Блокови (>32t, EURO5) и дрвена грађа (7.5-16t EURO5) се превозе 125km камионом до локације изградње (Прилог Ц Табела ПЦ2). Инвентар изградње сценарија Б<sub>32</sub> је приказан у Табели ПЦ3 (Прилог Ц). Производња и превоз малтера и челичних спојница неопходних за изградњу зида се приписују сегменту изградње (А5) у фази изградње. Препоручено је да се блокови повежу са носећом конструкцијом на 5 тачака по m<sup>2</sup> и да се унутрашњи и спољашњи редови блокова такође повежу малтером (Isohemr 2021b). Претпоставља се производња припремљеног и упакованог малтера у Србији. Инвентар за производњу малтера је приказан у Табели ПЦ8 (Прилог Ц). Састав кречног малтера за слагање блокова је преузет из еколошке декларације Белгијског произвођача блокова од конопље и креча (Léonard & Gros Lambert 2018). Малтер се састоји од хидратисаног креча (8.49kg/m<sup>3</sup> блокова), природног гипса (7.72kg/m<sup>3</sup> блокова) и песка (22.38kg/m<sup>3</sup> блокова). За спајање два реда блокова неопходно је додати још 1.5kg хидратисаног креча, 1.4kg природног гипса и 4kg песка. Хидратисани креч и песак се производе у Србији и превозе 125km камионом (>32t, EURO5) до производног погона за малтер. Производња природног гипса није значајно развијена у Србији, те се претпоставља увоз из неке од земаља региона. Претпоставља се просечна раздаљина од 482km за превоз природног гипса камионом до погона (>32t, EURO5). Сировине се потом мешају и малтер се пакује и палетира. Челични шrafoви (Табела ПЦ10) и спојнице (Табела ПЦ11 Прилог Ц) се производе у Србији и најпре превозе 125km до локалног дистрибутера (7.5-16t lorry, EURO5) и затим још 20km до локације лаким комерцијалним возилом.

Као и за функционалну јединицу А, претпоставља се степен стварања грађевинског отпада од 5%, за све материјале који се користе у изградњи. Отпадни материјали и амбалажа се превозе 20km камионом (7.5-16t lorry, EURO5) до депоније, а искоришћене палете се превозе 20km камионом (3.5-7.5t lorry, EURO5) до откупног центра за поновну употребу. Емисије гасова стаклене баште услед распадања отпадног дрвета се узимају у обзир и рачунају користећи формуле (11) до (15). Претпоставља се да ће поздер у блоковима постати инертан након периода одлежавања у фабрици. Стога се распадање поздера не узима у обзир.

### 5.5.2.3 Фаза коришћења

Пошто се блокови обично чувају бар 2 месеца пре даље продаје, Леонар и Гросламбер (Léonard & Gros Lambert 2018) узимају у обзир карбонатизацију везива у фази производње, док Си (Sié 2018) карбонатизацију разматра у фази коришћења. У ревизији еколошке декларације Леонар и Гросламбер (Léonard & Gros Lambert 2021), претпостављају да ће се 61% укупне карбонатизације одвити у фази производње, а 39% у фази коришћења. Пошто се карбонатизација неће завршити пре фазе коришћења, ради симплификације модела, по узору на еколошку декларацију (Sié 2018) комплетна карбонатизација ће се приписати фази коришћења. Карбонатизација у фази коришћења такође узима у обзир хидратисани креч у малтеру и отпадне грађевинске материјале. Као и у функционалној јединици А, претпоставља се фактор карбонатитације везива од  $0.367\text{kgCO}_2/\text{kg}$  у блоковима. За малтер који се користи за слагање блокова, претпоставља се степен карбонатизације од 82.5% ( $0.457\text{kgCO}_2/\text{kg}$  хидратисаног креча), док се за малтер који спаја два реда блокова користи нижи степен карбонатизације од 75% ( $0.415\text{kgCO}_2/\text{kg}$  хидратисаног креча), пошто неће имати директан контакт са спољашњом средином током животног века функционалне јединице и може имати ограничен контакт са амбијентом на крају животног века. Пошто блокови имају прилике да се карбонатују приликом лагеровања, за везиво у отпадним блоковима се користи конзервативан фактор карбонатизације везива из функционалне јединице  $P_{\text{КАР}}$  ( $0.331\text{kgCO}_2/\text{kg}$  везива). Коначно по угледу на отпадно везиво из функционалне јединице А, за отпадни хидратисани креч у малтеру се користи степен карбонатизације од 50% ( $0.277\text{kgCO}_2/\text{kg}$  хидратисаног креча).

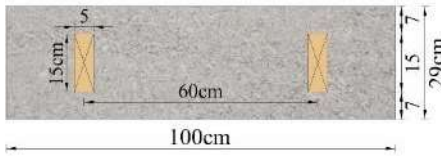
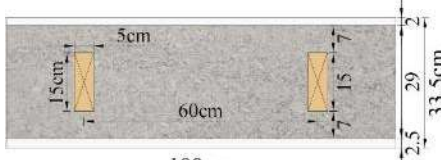
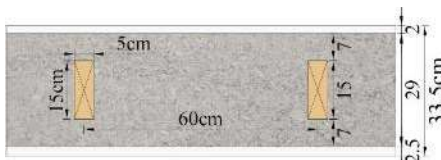
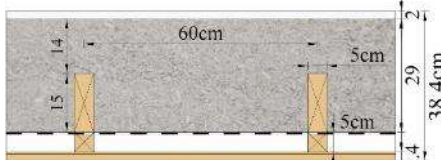
### 5.5.2.4 Фаза одлагања

Фаза одлагања сценарија Б<sub>32</sub>, Б<sub>27</sub> и Би је веома слична фази одлагања функционалне јединице А. Након рушења дрвена грађа се ручно раздваја и шаље на сагоревање. Остатак зида се превози 125km (16-32t EURO5) до центра за сортирање грађевинских материјала. Малтер и челичне спојнице се раздвајају од бетона од конопље и креча и са 10% неупотребљивог бетона од конопље и креча, шаљу камионом 20km (16-32t, EURO6) на депонију.

## 5.6 Еколошки утицај обраде функционалне јединице А (А+М<sub>КТ</sub>, А+М<sub>ПХК</sub> и А+ВФ<sub>ДА</sub>)

У сценаријима А+М<sub>КТ</sub>, А+М<sub>ПХК</sub> и А+ВФ<sub>Д</sub> анализира се еколошки утицај примене различитих спољашњих и унутрашњих обрада на зид од бетона од конопље и креча. Сценарији се дефинишу додавањем типичних паропропусних обрада за зид од бетона од конопље и креча на функционалну јединицу А. Испитује се утицај примене малтера од кречног теста (+М<sub>КТ</sub>), малтера од природног хидрауличног креча (+М<sub>ПХК</sub>) и вентилисане фасаде са даском од дрвета (+ВФ<sub>Д</sub>). Сценарији су приказани у Табели 5.7.

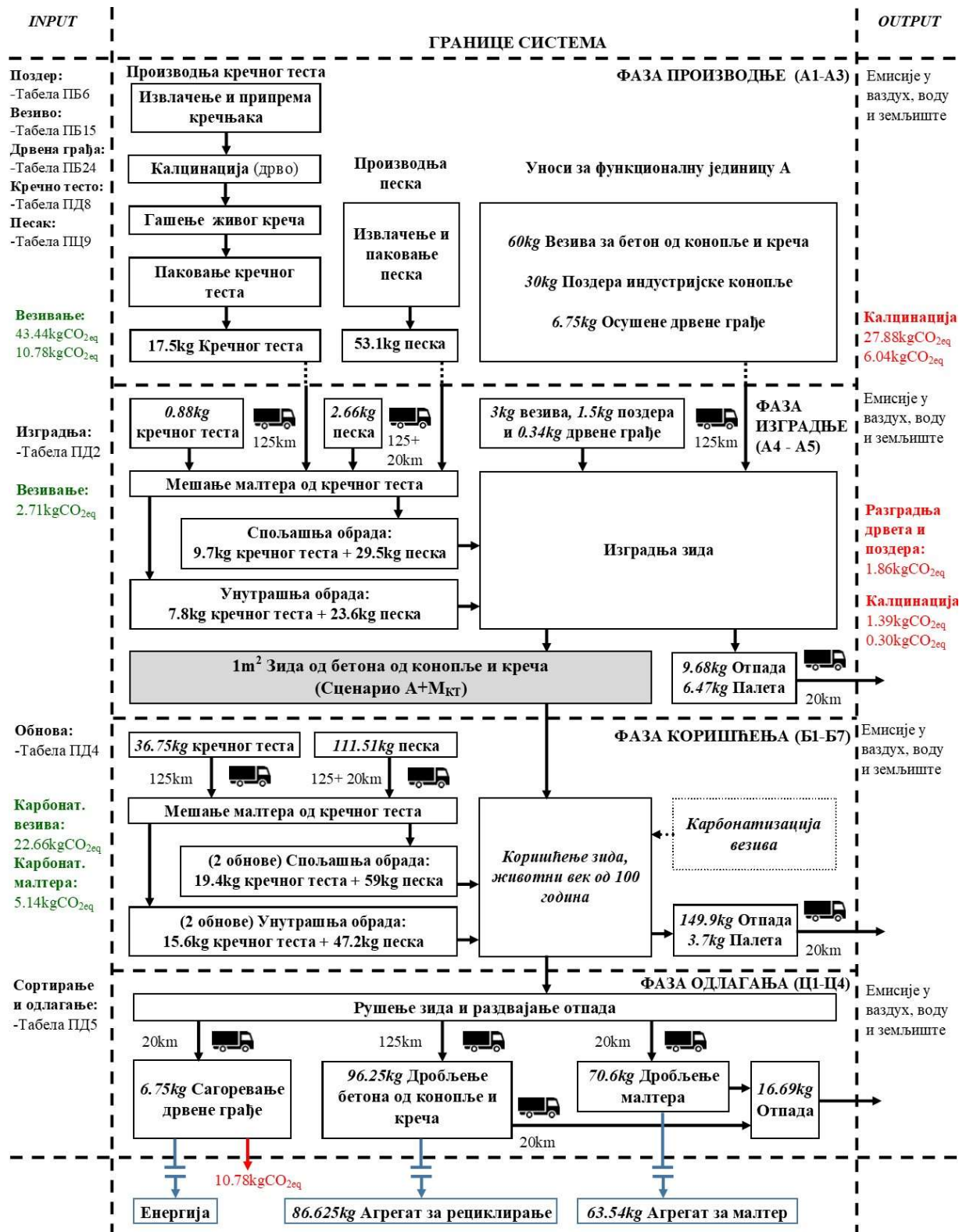
Табела 5.7. Својства сценарија А+М<sub>КТ</sub>, А+М<sub>ПХК</sub> и А+ВФ<sub>Д</sub> у односу на функционалну јединицу А

Сценарио	Коефицијент пролаза топлоте (W/m <sup>2</sup> K)	Спољашња обрада	Унутрашња обрада	
	А	0.300	Нема	Нема
	А+М <sub>КТ</sub>	0.296	-9.7kg кречно тесто -29.5kg песак	-7.8kg кречно тесто -23.6kg песак
	А+М <sub>ПХК</sub>	0.296	-5kg природни хидраулични креч -29.5kg песак	-4kg природни хидраулични и креч -23.6kg песак
	А+ВФ <sub>Д</sub>	0.283	-0.018m <sup>3</sup> даска од храста -0.005m <sup>3</sup> импрегнирана дрвена грађа -1m <sup>2</sup> паропропусна фолија	-7.8kg кречно тесто -23.6kg песак

### 5.6.1 Анализа инвентара сценарио А+М<sub>КТ</sub>

Кречно тесто (*lime putty*) се често користи за обраду зидова од бетона од конопље и креча. Сценарио А+М<sub>КТ</sub> подразумева примену 2.5cm малтера од кречног теста и песка са спољашње стране и 2cm

малтера од кречног теста и песка са унутрашње стране функционалне јединице А. Анализа инвентара за животни циклус сценарија А+М<sub>КТ</sub> је приказана у Слици 5.8.



Слика 5.8: Анализа инвентара животног циклуса сценарија А+М<sub>КТ</sub>



Анализа инвентара фазе производње у сценарију А+М<sub>КТ</sub> је приказана у Табели ПД1 (Прилог Д). Топлотна проводљивост за кречни малтер (0.81W/mK) је преузета из „Правилника о енергетској ефикасности зграда“ (МГСИ 2011). Додатком обраде коефицијент пролаза топлоте зида постаје нижи. Производња кречног теста и песка се приписује фази производње. Кречно тесто и песак се мешају према запремини у односу 1:2.5, те је неопходно применити 9.7kg кречног теста и 29.5kg песка са спољашње стране и 7.8kg кречног теста и 23.6kg песка са унутрашње стране зида. Кречно тесто се производи гашењем живог креча са вишком воде. На тржиштима Западне Европе кречно тесто се комерцијално продаје засебно у пластичним кофама од 25kg или као већ припремљен малтер у врећама од 1t. У Србији кречно тесто није широко доступан производ и у пракси се набавља по наруџбини од мањих произвођача који производе креч традиционалним методама. Алтернатива би била куповина негашеног креча од индустријског произвођача и самостално гашење на локацији, али ова метода не би била практична уколико су потребне мање количине креча или не постоје услови за гашење креча на локацији. За сврхе сценарија А+М<sub>КТ</sub> претпоставља се тренутно најчешћа пракса, куповина кречног теста произведеног традиционалном методом од мањег произвођача.

Анализа инвентара за производњу живог креча традиционалном методом приказана је у Табели ПД6 (Прилог Д). Подразумева се унос од 1.73kg кречњака за производњу 1kg живог креча. Кречњак се извлачи и превози 20km (>32t, EURO 5) до локалног произвођача креча. Дрво се користи као гориво за печење креча. Из економских разлога претпоставља се да је цена, а не квалитет кључан параметар при избору горива. Стога се претпоставља да ће примењено дрво бити у различитим фазама сушења и имати неуједначен садржај влаге. Претпоставља се просечан садржај влаге од 30% као просечна вредност између зеленог дрвета (40%) и сувог дрвета за потпалу (20%). Доња топлотна вредност се рачуна користећи формулу (19).

$$DTV_{SV} = \frac{DTV_0(100 - SV) - 2.44SV}{100} \quad (19)$$

где је:

$DTV_{SV}$ : доња топлотна вредност дрвета при одређеном садржају влаге (19MJ/kg)

$DTV_0$ : доња топлотна вредност дрвета у сувом стању (садржај влаге 0%)

$SV$ : садржај влаге (30%, 0.3)

На основу типичне суве доње топлотне вредности листопадног дрвета од 19MJ/kg (Antonini et al. 2008) добија се доња топлотна вредност од 12.568MJ/kg при садржају влаге од 30%. Количина дрвета потребна за печење креча се рачуна преко формуле за ефикасност пећи (20).

$$EP = \frac{TE_T \cdot F_{CaCO_3} \cdot DK}{M_G \cdot DTV_G} \quad (20)$$

где је:

EP: ефикасност пећи (20%, 0.2)

TE<sub>T</sub>: теоретска топлотна енергија потребна за трансформисање калцита у живи креч (3180MJ/t)

F<sub>CaCO<sub>3</sub></sub>: фракција калцита у кречњаку (0.945)

DK: доступан креч након трансформације (0.945)

M<sub>G</sub>: маса горива потребна за трансформацију калцита (kg/t)

DTV<sub>G</sub>: доња топлотна вредност горива (12.568MJ/kg)

Форстер и др. (Forster et al. 2020) указују да је ефикасност традиционалних кречарских пећи на дрва била око 20%. Користећи формулу (20) дефинише се унос од 1129.782kg/t кречњака или 1.955kg дрвета по килограму негашеног креча. Фактори за емисије услед сагоревања дрвета у традиционалној кречарској пећи нису били доступни у литератури. Амбијент и инфраструктура у коме се сагоревање дрвета одвија има значајан утицај на емисије гасова стаклене баште. Савремене стамбене и индустријске пећи на дрва промовишу чистије и ефикасније сагоревање дрвета, чиме се минимизирају емисије CH<sub>4</sub> и угљен монооксида (CO). Традиционалне кречарске пећи сагоревају дрво у делимично отвореном амбијенту на релативно неефикасан начин, те се могу очекивати веће емисије штетнијих гасова стаклене баште. Акаги и др. (Akagi et al. 2011) указују да пламено сагоревање (*flaming*) резултира брзим повезивањем угљеника са кисеоником и ствара CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub> и SO<sub>2</sub>, док тињајуће сагоревање (*smoldering*) утиче на емисије CO, CH<sub>4</sub> и неметанских органских једињења. Пошто је неопходно константно одржавати високу температуру у ложишту док се кречњак пече, може се претпоставити значајан удео пламеног сагоревања. Ипак пошто измерени подаци нису доступни примениће се конзервативнији фактори емисија. Фактори емисија у ваздух услед сагоревања дрвета су дефинисани на основу *Ecoinvent* процеса за сагоревање нетретираног отпадног дрвета на отвореном и приказани су у Табели ПД7 (Прилог Д). Након хлађења живи креч се гаси водом у базенима. Анализа инвентара за производњу кречног теста је приказана у Табели ПД8 (Прилог Д). Да би се добио килограм кречног теста неопходно је угасити 0.48kg живог креча (Lynch 2019) са око 0.62kg воде (Spiropolous 1985). Након гашења кречно тесто се пакује у пластичну

бурад од 200l (250kg кречног теста и заштитни слој воде). Анализа инвентара за производњу песка је приказана у Табели ПЦ9 (Прилог Ц). Након извлачења песак се пакује у полипропиленске џакове од 40kg и палетира.

Кречно тесто се превози 125km (7.5-16t EURO 5) до локације, док се песак превози 125km (>32t EURO 5) до локалног стоваришта грађевинских материјала и још 20km (16-32t EURO 5) до локације (Прилог Д Табела ПД2). Анализа инвентара за изградњу сценарија А+М<sub>КТ</sub> је приказана у Табели ПД3 (Прилог Д). Приликом изградње објекта узима се у обзир производња и превоз додатних 5% кречног теста и песка како би се надоместили губици материјала приликом превоза и изградње. Анализа инвентара за фазу коришћења је приказана у Табели ПД4 (Прилог Д). Фаза коришћења узима у обзир карбонатизацију везива и кречног теста и обнову спољашњих и унутрашњих обрада функционалне јединице А. Подразумева се степен карбонатизације кречног од 82.5% за кречно тесто (0.285kgCO<sub>2</sub>/kg) и 50% за отпадно кречно тесто (0.173kgCO<sub>2</sub>/kg). У истраживању Прето, Коле и Гарније (Pretot, Collet & Garnier 2014) дефинисане су две обнове кречног малтера споља и једна обнова кречног малтера унутра током животног века зида од бетона од конопље и креча од 100 година. У литератури се за спољашње обраде од малтера дефинише животно век од 25-35 година, док се за унутрашње обраде од малтера дефинише животно век од 30-40 година (Kellenberger & Althaus 2009, Pretot, Collet & Garnier 2014, RICS 2017). У сценарију А+М<sub>КТ</sub> се примењује режим од две спољашње и две унутрашње обнове малтера од кречног теста током животног века зида од 100 година. Обнова зида подразумева потпуну замену спољашње обраде од 2.5cm и унутрашње обраде од 2cm кречног малтера. У обнову је укључена и производња додатних 5% материјала за надомештање отпада, превоз материјала на локацију, превоз и депоновање отпадног малтера и амбалаже и карбонатизација свих обрада од кречног малтера.

Анализа инвентара за фазу одлагања је приказана у Табели ПД5 (Прилог Д). На крају животног века прво је неопходно одстранити сав малтер пнеуматским длетом како би се раздвојио малтер од бетона од конопље и креча за лакше рециклирање материјала. Отпадни малтер се потом превози 20km (16-32t EURO 6) до центра за сортирање отпада где се 90% оставља за примену као грађевински агрегат док се 10% депонује. Остатак фазе одлагања је идентичан функционалној јединици А.

### **5.6.2 Анализа инвентара сценарио А+М<sub>ПХК</sub>**

Анализа инвентара за све фазе животног циклуса сценарија А+М<sub>ПХК</sub> је приказана у Прилогу Е (Табела ПЕ1 до ПЕ6). Поставка сценарија А+М<sub>ПХК</sub> је идентична поставци сценарију А+М<sub>КТ</sub>, основна

разлика је примена природног хидрауличног креча уместо кречног теста за прављење малтера. Хидраулични креч и песак се мешају према запремини у односу 1:2.5. Пошто хидраулични креч има нижу густину од кречног теста потребно је помешати 5kg хидрауличног креча са 29.5kg песка и 3.5kg воде за спољашњу обраду и 4kg хидрауличног са 23.6kg песка и 2.4kg воде за унутрашњу обраду. Анализа инвентара за производњу упакованог природног хидрауличног креча је приказана у Табели ПЕ6 (Прилог Е) и подразумева паковање хидрауличног креча у папирне цакове од 25kg. Упаковани хидраулични креч се превози укупно 1065km од произвођача у Северној Италији, преко дистрибутера до локације изградње. У фази коришћења се примењује степен карбонизације хидрауличног креча од 50% и дефинишу се две обнове спољашње и две обнове унутрашње обраде.

### 5.6.3 Анализа инвентара сценарио А+ВФ<sub>д</sub>

Сценарио А+ВФ<sub>д</sub> подразумева додавање вентилисане фасаде (+ВФ) са даском од храста са спољашње стране и 2cm малтера од кречног теста и песка са унутрашње стране функционалне јединице А. Анализа инвентара за фазу производње сценарија А+ВФ<sub>д</sub> је приказана у Табели ПФ1 (Прилог Ф). Неопходан је унос од 0.018m<sup>3</sup> храстове даске произведене у Србији (Прилог Ф Табела ПФ7). Храстова даска је изабрана пошто је доступна локално и не захтева додатну заштиту хемикалијама за дуг животни век<sup>49</sup>. Подаци за процесе производње даске од тврдог дрвета су преузети из *Ecoinvent* базе података и прилагођени за потрошњу струје у Србији. Дрвена грађа за качење фасадне даске се производи у Србији (Прилог Ф Табела ПФ6) и подразумева третман меке дрвене грађе средством за заштиту од гљивица, трулежи и штеточина под притиском. За сво дрво у фасади се примењује исти фактор везивања CO<sub>2</sub> као и за дрвену грађу у функционалној јединици А. Еколошки подаци за паропропусну фолију су преузети из еколошке декларације произвођача из Лихтенштајна (DuPont 2016). Сви аспекти везани за унутрашњу обраду од кречног малтера су идентични као и сценарију А+М<sub>кт</sub>. Анализа инвентара за фазу изградње је приказана у Табели ПФ2 и ПФ3 (Прилог Ф). Третирана дрвена грађа и храстова даска се превозе 125km (7.5-16t EURO 5) до локације, док се паропропусна фолија превози друмски укупно 1575km. Уз производњу додатних 5% материјала, фази изградње се приписују и производња челичних завртња и ексера за подизање фасаде. Додатно отпадно дрво у фази изградње се такође одлаже на несанитарну депонију као и у функционалној јединици А.

---

<sup>49</sup> Сибирски ариш је такође веома погодно дрво за примену на фасадама, али се увози из Русије. Локални бели бор је мање издржљиво дрво које би захтевало хемијско или топлотно третирање. Хемикалије које се користе за третирање дрвета су углавном токсичне и имају негативан утицај на људско здравље и животну средину. Топлотно третирање дрвета подразумева излагање резане грађе температурама од 180 до 250°C (Candelier et al. 2016) и сматра се еколошки прихватљивијим начином заштите дрвета. Међутим „термо дрво“ доступно на домаћем тржишту је углавном ако не и искључиво из увоза, пошто ова технологија још увек није довољно заживела у Србији.

Фаза коришћења укључује карбонатизацију везива и кречног теста и обнове фасадних обрада (Прилог Ф Табела ПФ4). Храст је класификован као издржљиво дрво које се користи као фасадна даска услед високе густине и високог садржаја танина који га штити од напада инсеката и гљивица. Животни век фасадне даске од храста износи 40-60 година (Mayer 2008). Очекивани животни век третиране дрвене грађе за спољашњу употребу без контакта са земљом (*use class 3* према *EN 335*) износи 30 година (Wood Protection Agency 2022). Очекивани животни век паропропусне фолије такође износи 30 година (DuPont 2016). Храстова даска би потенцијално могла испунити режим од само једне обнове током животног века од 100 година, али је очекивани животни век третиране дрвене грађе и паропропусне фолије значајно нижи. Стога се дефинише режим од две потпуне обнове спољашње вентилисане фасаде и две потпуне обнове унутрашње обраде од кречног малтера. Фасадна даска се не премазује и не третира на било какав начин током животног века. Претпоставља се да ће сво отпадно дрво приликом обнова вентилисане фасаде евентуално бити спаљено, те се сав везани CO<sub>2</sub> испушта у атмосферу. На крају животног века, фаза одлагања (Прилог Ф Табела ПФ5) прати исти принцип као и у сценаријима А+М<sub>КТ</sub> и А+М<sub>ПХК</sub>. Малтер од кречног теста и песка се одваја од зида и рециклира као агрегат, паропропусна фолија, завртњи и ексери се депонују, а сво дрво се спаљује.

### 5.7 Еколошки утицај различитих режима обнова завршних обрада зида

На основу животног века кречних малтера у литератури (Kellenberger & Althaus 2009, Pretot, Collet & Garnier 2014, RICS 2017) дефинише се песимистичан (А+М<sub>КТ</sub>+ФК<sub>П</sub>) и оптимистичан (А+М<sub>КТ</sub>+ФК<sub>О</sub>) режим обнова завршних обрада у сценарију А+М<sub>КТ</sub> (Табела 5.8).

Табела 5.8: Режији обнова сценарија А+М<sub>КТ</sub> током животног века од 100 година

Сценарио	Спољашњи режим обнова (2.5cm)			Унутрашњи режим обнова (2cm)		
	Материјал	Број обнова током 100 година	Животни век (година)	Материјал	Број обнова током 100 година	Животни век (година)
А+М <sub>КТ</sub>	Малтер од кречног теста	2	33	Малтер од кречног теста	2	33
А+М <sub>КТ</sub> +ФК <sub>П</sub> (песимистичан)	Малтер од кречног теста	3	25	Малтер од кречног теста	2	33
А+М <sub>КТ</sub> +ФК <sub>О</sub> (оптимистичан)	Малтер од кречног теста	2	33	Малтер од кречног теста	1	50

Сценарио А+М<sub>КТ</sub>+ФК<sub>П</sub> подразумева три спољашње и две унутрашње обнове завршне обраде од малтера кречног теста, док сценарио А+М<sub>КТ</sub>+ФК<sub>О</sub> подразумева две спољашње и једну унутрашњу обнову обраде од малтера кречног теста.

## 6. Процена животног циклуса бетона од конопље и креча

Еколошки утицаји животног циклуса сценарија дефинисаних у поглављу 5 су израчунати користећи *CML-IA* методологију процене животног циклуса. Уз процене животног циклуса индивидуалних сценарија извршене су и компаративне анализе између сценарија А, П и О, између функционалне јединице А и сценарија префабрикације у блокове и између различитих сценарија примене завршне обраде на функционалну јединицу А.

### 6.1 Процена животног циклуса: Основна функционална јединица А

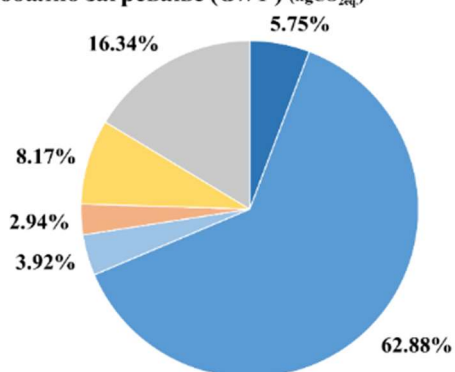
Еколошки утицаји животног циклуса функционалне јединице А су приказани у Табели 6.1. Уочава се да је показатељ за потенцијал глобалног загревања негативан (-0.261kgCO<sub>2eq.</sub>), што указује да функционална јединица А везује више CO<sub>2</sub> него што испусти.

Табела 6.1: Еколошки утицаји животног века функционалне јединице А

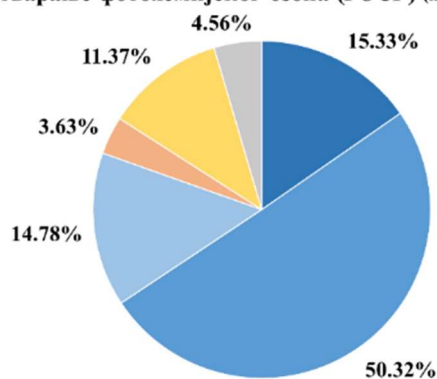
Процес		<i>GWP</i> kgCO <sub>2eq.</sub>	<i>AP</i> kgSO <sub>2eq.</sub>	<i>EP</i> PO <sub>4eq.</sub>	<i>POCP</i> kgC <sub>2</sub> H <sub>4eq.</sub>	<i>ODP</i> kgCFC-11 <sub>eq.</sub>	<i>ADP</i> kgSb <sub>eq.</sub>	<i>ADPf</i> MJ <sub>eq.</sub>
A1- A3	Производња поздера индустријске конопље	4.560	0.031	0.025	1.29E-03	2.73E-07	2.32E-05	39.595
	Везивање CO <sub>2</sub> : поздер	-43.438						
	Производња везива	49.878	0.095	0.043	4.24E-03	3.77E-06	1.65E-05	316.960
	Производња дрвене грађе	3.113	0.030	0.020	1.24E-03	2.01E-07	3.62E-06	32.818
	Везивање CO <sub>2</sub> : дрво	-10.780						
A4	Превоз материјала до локације	2.329	0.007	0.002	3.06E-04	4.26E-07	9.34E-06	33.913
A5	Уградња функционалне јединице	6.481	0.021	0.039	9.57E-04	2.56E-07	6.83E-06	33.998
	Везивање CO <sub>2</sub> : отпадни поздер и дрво	-2.711						
B1- B7	Карбонатизација функционалне јединице	-22.036						
	Карбонатизација отпадног везива	-0.623						
Ц1- Ц4	Одлагање функционалне јединице	12.966	0.011	0.005	3.84E-04	3.95E-07	5.69E-06	33.203
<b>УКУПНО</b>		<b>-0.261</b>	<b>0.194</b>	<b>0.134</b>	<b>8.42E-03</b>	<b>5.32E-06</b>	<b>6.51E-05</b>	<b>492.487</b>

Слика 6.1 указује на релативни удео главних процеса и фаза у животном веку функционалне јединице А. Приказ за потенцијал глобалног загревања узима у обзир само емисије гасова стаклене баште, везивање CO<sub>2</sub> није узето у обзир. Слика 6.2 приказује како везивање CO<sub>2</sub> утиче на свеукупни биланс емисије гасова стаклене баште.

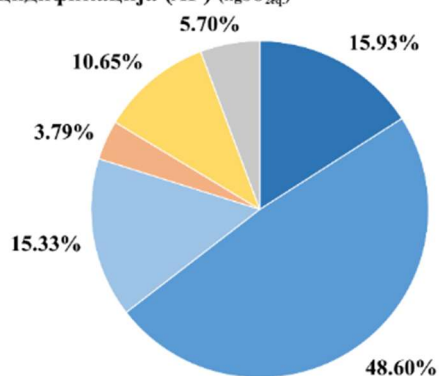
Глобално загревање (*GWP*) (kgCO<sub>2eq</sub>)



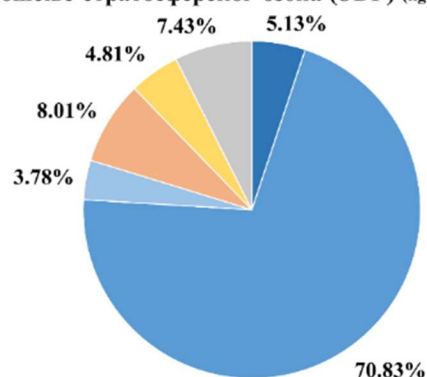
Стварање фотохемијског озона (*POCP*) (kgC<sub>2</sub>H<sub>4eq</sub>)



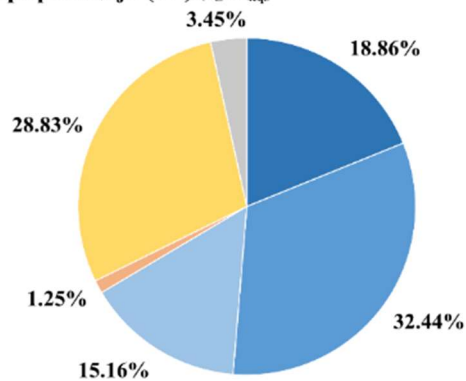
Ацидификација (*AP*) (kgSO<sub>2eq</sub>)



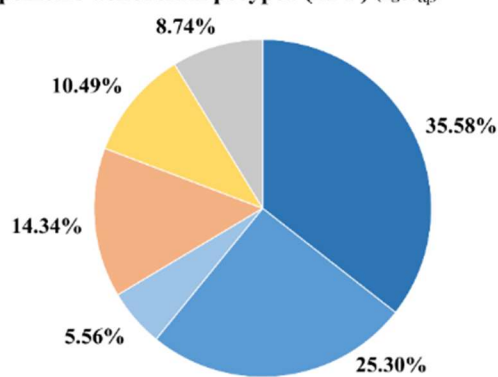
Трошење стратосферског озона (*ODP*) (kgCFC-11<sub>eq</sub>)



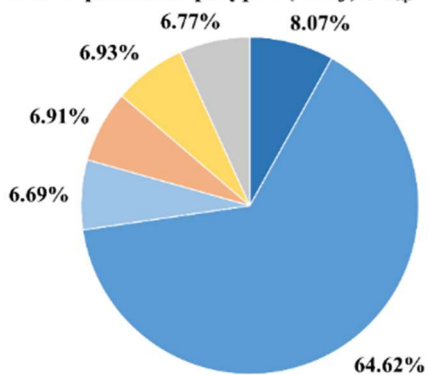
Еутрофикација (*EP*) (kgPO<sub>4eq</sub>)



Трошење абиотских ресурса (*ADP*) (kgSb<sub>eq</sub>)



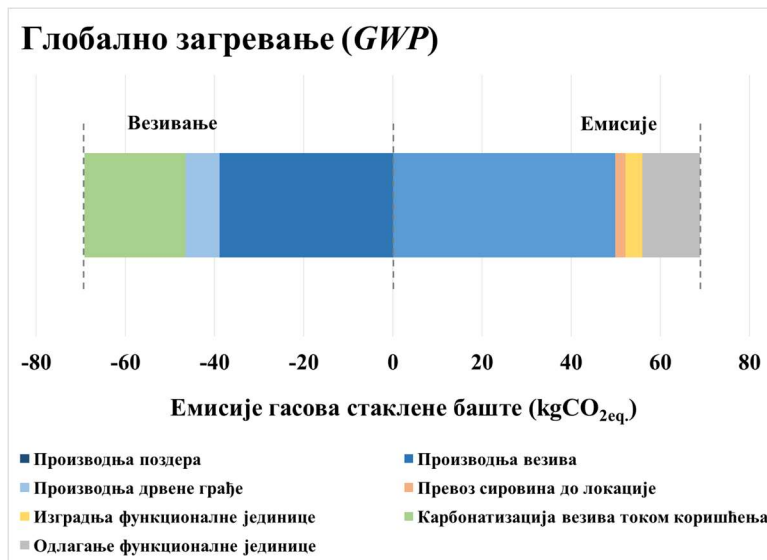
Трошење фосилних ресурса (*ADPf*) (Mj<sub>eq</sub>)



- Производња поздера индустријске конопље
- Производња везива
- Производња дрвене грађе
- Превоз сировина до локације
- Уградња функционалне јединице
- Одлагање функционалне јединице

Слика 6.1: Релативни еколошки утицаји процеса у животном веку функционалне јединице А





Слика 6.2: Релативни биланс емисије гасова стаклене баште током животног века функционалне јединице А

Из Сlike 6.1 уочава се да фаза производње (A1-A3) која подразумева производњу поздера, везива и дрвене грађе има најзначајнији утицај на све еколошке показатеље. Фаза производње је заслужна за 72.55% укупних емисија гасова стаклене баште у животном веку функционалне јединице А. Ипак везивање CO<sub>2</sub> фотосинтезом, током развоја индустријске конопље и дрвета, умањује свеобухватни утицај фазе производње на +3.333kgCO<sub>2</sub>eq.. Производња поздера индустријске конопље најзначајније утиче на митигацију климатских промена и има нето потенцијал глобалног загревања од -38.878kgCO<sub>2</sub>eq.. Производња везива има највећи индивидуални утицај на емисије гасова стаклене баште услед калцинације кречњака, која захтева високе енергетске уносе сагоревањем фосилних горива и директно испушта CO<sub>2</sub> у атмосферу. Крај животног века има други најзначајнији утицај на потенцијал глобалног загревања, пошто сагоревање дрвене грађе испушта сав CO<sub>2</sub> везан у дрвету током фазе производње.

Фаза производње има релативни удео од 66.44% (*ADP*) до 80.43% (*POCP*) у осталим еколошким показатељима, пошто производња везива представља еколошки најутуцајнији процес у животном циклусу функционалне јединице А. Производња везива захтева велике уносе енергије из фосилних извора. Производња и допрема фосилних енергената има значајан утицај на показатељ за потенцијал трошење стратосферског озона (*ODP*), док њихово сагоревање испушта материје које утичу на ацидификацију, еутрофикацију и стварање фотохемијског озона. Производња везива има највећи индивидуални еколошки утицај на све показатеље осим потенцијала абиотског трошења (*ADP*). Разлози за то могу бити висока потрошња дизела и ђубрива у производњи поздера, примена

природног гаса као основног горива у производњи хидратисаног креча и недостатак фактора карактеризације за калцијум у коришћеној *CML-IA* методологији. Поред показатеља за потенцијал абиотског трошења (*ADP*), производња поздера, услед потрошње ђубрива, има најизраженији утицај на показатељ потенцијала еутрофикације (*EP*). Производња дрвене грађе има највећи релативни еколошки утицај на потенцијал еутрофикације (*EP*), ацидификације (*AP*) и стварања фотохемијског озона (*POCP*) због високе потрошње струје за сушење. У склопу животног века функционалне јединице А, превоз материјала на локацију има релативно низак еколошки утицај. Потрошња дизела највише утиче на показатеље за потенцијал трошења стратосферског озона (*ODP*) и абиотског трошења (*ADP*). Превоз има највиши утицај специфично на потенцијал абиотског трошења (*ADP*), пошто *Ecoinvent* процеси за теретни превоз укључују и утицаје производње и одржавања возила и путева. Ово се огледа и у фази одлагања пошто и она укључује превоз целе функционалне јединице. Уградња функционалне јединице има изражен еколошки утицај на потенцијал еутрофикације (*EP*) услед производње додатних сировина за надомештање изгубљеног материјала и лоше праксе одлагања дрвеног отпада.

Карбонатизација везива у фази коришћења умањује нето утицај примене везива на глобално загревање на  $+27.842\text{kgCO}_{2\text{eq}}$ . Отпадни грађевински материјали такође везују  $\text{CO}_2$ , што ублажава негативне еколошке утицаје производње додатне стабљике и дрвене грађе и додатног везива. Међутим спаљивање дрвеног отпада би учинило коначни потенцијал глобалног загревања функционалне јединице А позитивним. Стога је значајно правилно управљати отпадом и умањити или потпуно спречити стварање грађевинског отпада. Међутим евидентно је да везивање  $\text{CO}_2$  фотосинтезом и карбонатизацијом везива има највећи утицај на биланс емисије гасова стаклене баште и да фактори везивња  $\text{CO}_2$  имају значајан утицај на потенцијал глобалног загревања и свеобухватну еколошку перцепцију материјала.

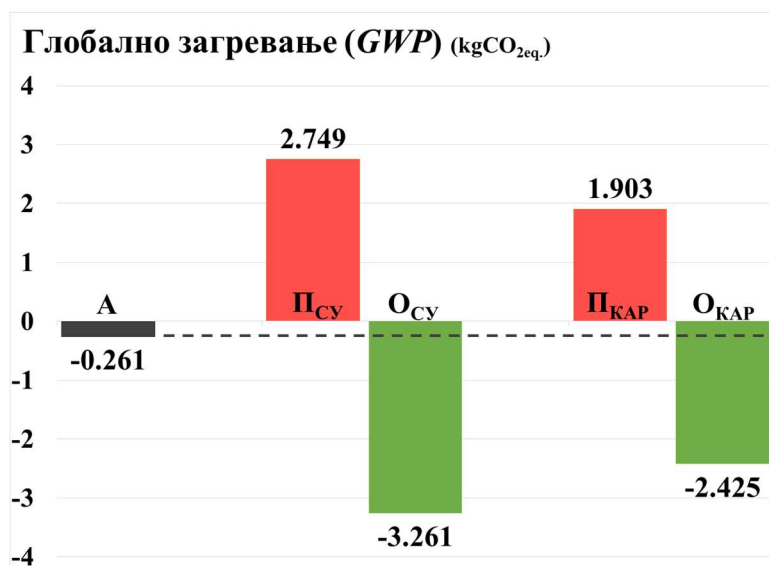
## 6.2 Процена животног циклуса: Сценарио П и О

Уз процену животног циклуса сценарија П и О извршена је и компаративна анализа са функционалном јединицом А. На основу резултата приказаних у Табели 6.2 и Сликама 6.3 и 6.4 евидентно је да постоје приметне разлике у еколошким утицајима песимистичног сценарија (П) и оптимистичног сценарија (О).

Табела 6.2: Еколошки утицаји животног века сценарија П и О

Сценарио	<i>GWP</i> kgCO <sub>2</sub> eq.	<i>AP</i> kgSO <sub>2</sub> eq.	<i>EP</i> PO <sub>4</sub> eq.	<i>POCP</i> kgC <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq.	<i>ODP</i> kgCFC-11eq.	<i>ADP</i> kgSb <sub>eq.</sub>	<i>ADPf</i> MJ <sub>eq.</sub>
<b>А</b>	-0.261	0.194	0.134	8.42E-03	5.32E-06	6.51E-05	490.487
<b>П</b>	8.362	0.209	0.162	9.04E-03	5.83E-06	7.88E-05	536.078
% у односу на А	<b>+3303.3%</b>	<b>+7.67%</b>	<b>+20.80%</b>	<b>+7.42%</b>	<b>+9.74%</b>	<b>+21.05%</b>	<b>+9.30%</b>
<b>О</b>	-9.006	0.181	0.108	7.84E-03	4.85E-06	5.47E-05	449.748
% у односу на А	<b>-3349.99%</b>	<b>-6.81%</b>	<b>-19.46%</b>	<b>-6.84%</b>	<b>-8.78%</b>	<b>-15.92%</b>	<b>-8.31%</b>
<b>П<sub>су</sub></b>	2.749	0.194	0.134	8.42E-03	5.32E-06	6.51E-05	490.487
% у односу на А	<b>+1153.1%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>
<b>О<sub>су</sub></b>	-3.261	0.194	0.134	8.42E-03	5.32E-06	6.51E-05	490.487
% у односу на А	<b>-1149.31%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>
<b>П<sub>КАР</sub></b>	1.903	0.194	0.134	8.42E-03	5.32E-06	6.51E-05	490.487
% у односу на А	<b>+828.97%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>
<b>О<sub>КАР</sub></b>	-2.425	0.194	0.134	8.42E-03	5.32E-06	6.51E-05	490.487
% у односу на А	<b>-828.97%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>
<b>П<sub>ПМК</sub></b>	0.413	0.197	0.137	8.49E-03	5.38E-06	7.12E-05	497.541
% у односу на А	<b>+258.29%</b>	<b>+1.46%</b>	<b>+2.72%</b>	<b>+0.88%</b>	<b>+1.27%</b>	<b>+9.43%</b>	<b>+1.44%</b>
<b>О<sub>ПМК</sub></b>	-0.666	0.193	0.132	8.37E-03	5.28E-06	6.14E-05	486.254
% у односу на А	<b>-154.98%</b>	<b>-0.88%</b>	<b>-1.63%</b>	<b>-0.53%</b>	<b>-0.76%</b>	<b>-5.66%</b>	<b>-0.86%</b>
<b>П<sub>РП</sub></b>	0.815	0.198	0.135	8.56E-03	5.51E-06	6.94E-05	506.155
% у односу на А	<b>+412.28%</b>	<b>+1.75%</b>	<b>+0.58%</b>	<b>+1.68%</b>	<b>+3.70%</b>	<b>+6.63%</b>	<b>+3.19%</b>
<b>О<sub>РП</sub></b>	-1.337	0.191	0.133	8.27E-03	5.12E-06	6.08E-05	474.818
% у односу на А	<b>-412.28%</b>	<b>-1.75%</b>	<b>-0.58%</b>	<b>-1.68%</b>	<b>-3.70%</b>	<b>-6.63%</b>	<b>-3.19%</b>
<b>П<sub>ГО</sub></b>	1.320	0.203	0.157	8.81E-03	5.56E-06	6.78E-05	512.272
% у односу на А	<b>+605.71%</b>	<b>+4.30%</b>	<b>+17.34%</b>	<b>+4.74%</b>	<b>+4.53%</b>	<b>+4.22%</b>	<b>+4.44%</b>
<b>О<sub>ГО</sub></b>	-2.466	0.186	0.111	8.02E-03	5.08E-06	6.23E-05	468.701
% у односу на А	<b>-844.47%</b>	<b>-4.30%</b>	<b>-17.36%</b>	<b>-4.74%</b>	<b>-4.53%</b>	<b>-4.22%</b>	<b>-4.44%</b>

Уочава се да све варијабиле имају најизраженији утицај на потенцијал глобалног загревања ( $GWP$ ). Утицаји варијација фактора везивања  $CO_2$  фотосинтезом поздера ( $P_{CY}$  и  $O_{CY}$ ) и карбонатизацијом везива ( $P_{KAP}$  и  $O_{KAP}$ ) на потенцијал глобалног загревања ( $GWP$ ) су приказани у Слици 6.6.



Слика 6.3: Еколошки утицај варијација фактора за везивање  $CO_2$  на потенцијал глобалног загревања ( $GWP$ )

Пошто је показатељ за потенцијал глобалног загревања ( $GWP$ ) основне функционалне јединице А приближан угљеничкој неутралности, евидентно је да варијације у факторима везивања  $CO_2$  могу имати значајан утицај на еколошку перцепцију материјала. Показатељ за потенцијал глобалног загревања ( $GWP$ ) постаје позитиван када се користи поздер са ниским садржајем угљеника ( $P_{CY}$ ) или кад су услови за карбонатизацију мање повољни ( $P_{KAP}$ ). Варијација фактора везивања  $CO_2$  фотосинтезом поздера је имала израженији утицај на биланс емисија гасова стаклене баште од варијација фактора карбонатизација везива. Разлика у садржају угљеника у поздеру од 6.07% између сценарија  $P_{CY}$  и  $O_{CY}$  резултира у варијацији потенцијала глобалног загревања ( $GWP$ ) од  $6.010kgCO_{2eq}$ . У контексту функционалне јединице А, примена поздера са садржајем угљеника од 44.1% би била довољна да учини показатељ за потенцијал глобалног загревања ( $GWP$ ) позитивним ( $0.006kgCO_{2eq}$ ). Стога чак и мале разлике у амбијенталним условима и физиологији сорти индустријске конопље могу имати изражен утицај на потенцијал глобалног загревања ( $GWP$ ). На основу података из истраживања Сосерд и Адамовиц (Sausserde & Adamoviczs 2003), уочава се да неке сорте индустријске конопље генерално имају већи садржај угљеника у поздеру од других, али и да амбијентални услови могу имати значајан утицај, пошто је садржај угљеника у неким сортама варирао скоро 2% у узастопним годинама. Услед великог садржаја поздера у типичном зиду од бетона од конопље и креча постоји значајна еколошка предност у примени поздера са већим

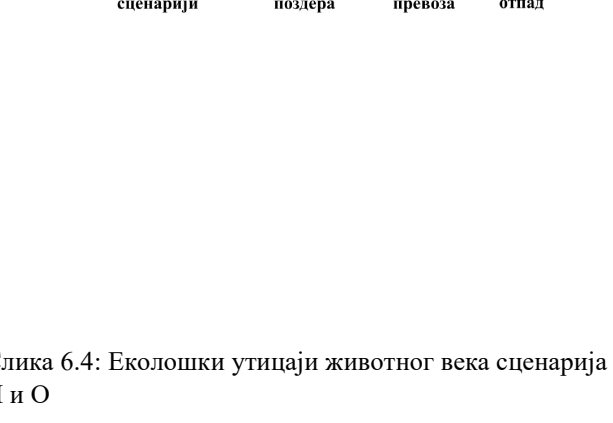
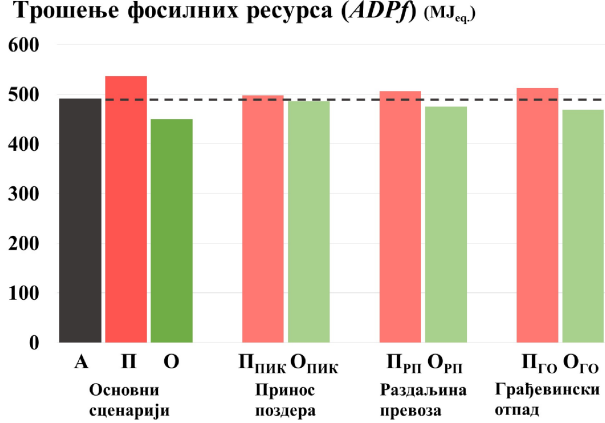
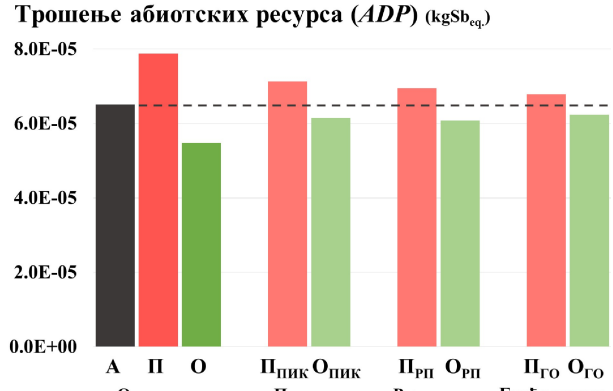
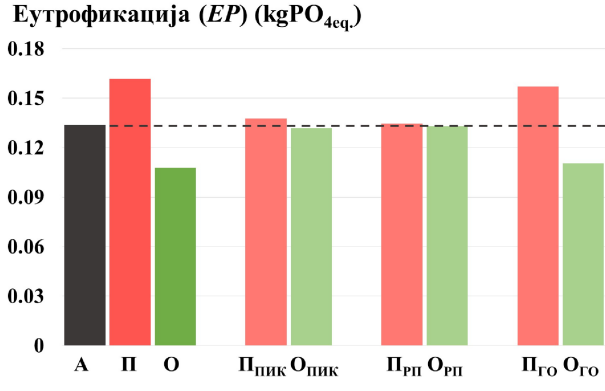
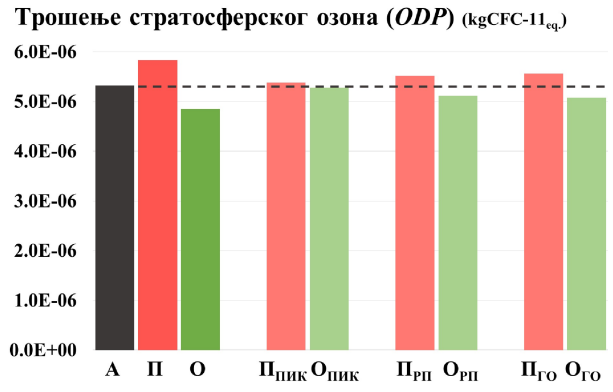
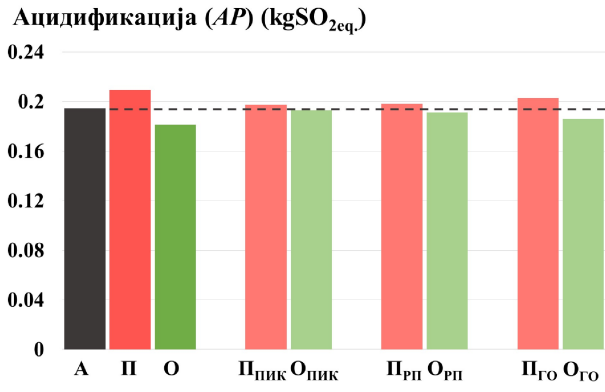
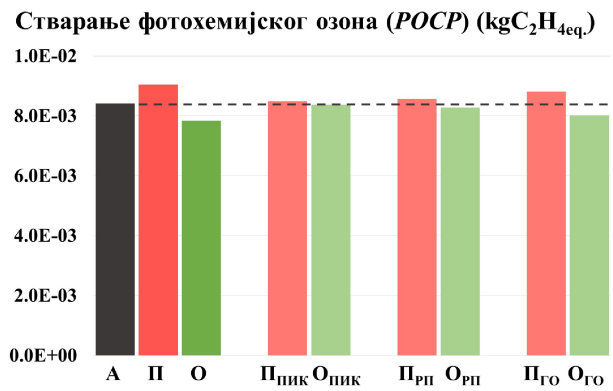
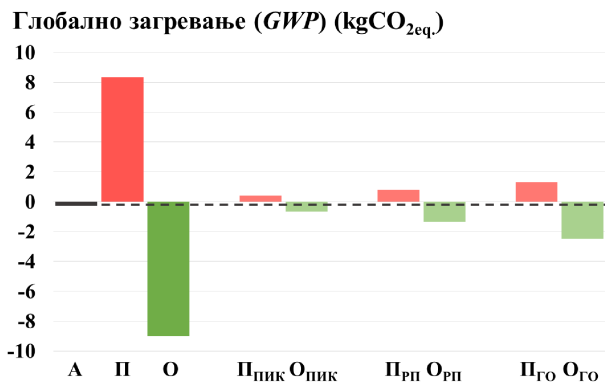
садржајем угљеника. Стога би било значајно проширити експерименталне податке из Табеле 5.7 и идентификовати сорте које могу везати више CO<sub>2</sub> у типичним амбијенталним условима присутним у Србији.

Дефинисана варијација фактора карбонатизације везива је имала мањи квантитативни утицај на потенцијал глобалног загревања (*GWP*) пошто је резултирала у разлици од 4.328kgCO<sub>2eq.</sub>. Ипак пошто зид од бетона од конопље и креча генерално садржи 1.8 до 2.2 пута више везива од поздера, свака варијација у степену карбонатизације ће имати изражен утицај на нето емисије гасова стаклене баште. Иако је степен карбонатизације хидратисаног креча од 100% теоретски могућ, али у пракси мало вероватан, према истраживању Деспоту и др. (Despotou et al. 2016), могуће је постићи мало виши степен карбонатизације од степена примењеног у сценарију O<sub>KAR</sub>. Пошто степен карбонатизације зависи од амбијенталних услова, изградња објекта од бетона од конопље и креча у локалитетима са непогодним климатским условима за карбонатизацију може имати изражен утицај на потенцијал глобалног загревања (*GWP*).<sup>50</sup> Мрвљење и рециклажа материјала на крају животног века може неутралисати низак степен карбонатизације у фази коришћења. Међутим брзо затрпавање материјала у депонију би отежало услове за карбонатизацију. Рециклирање материјала на крају животног века, стога има предност и са аспекта продужавања оквира за карбонатизацију везива.

Слика 6.4 представља графички приказ еколошких утицаја сценарија П, О и анализа осетљивости које се тичу варијације приноса индустријске конопље (П<sub>пик</sub>/О<sub>пик</sub>), раздаљине превоза сировина (П<sub>рп</sub>/О<sub>рпк</sub>) и степена формирања грађевинског отпада (П<sub>го</sub>/О<sub>го</sub>).

---

<sup>50</sup> Пожељна је релативна влажност између 40 и 80%. Испод 20% релативне влажности нема довољно воде у порам да се CO<sub>2</sub> и портландит растворе, док је при релативној влажности изнад 90% доступно мање од пола површине поре за карбонатизацију (Lawrence 2006). Оптимална температура за карбонатизацију је око 20°C, пошто веома ниске температуре успоравају хемијске реакције док веома високе температуре убрзавају хемијске реакције, али отежавају растварање CO<sub>2</sub> и портландита (Balen & Van Gemert 1994).



Слика 6.4: Еколошки утицаји животног века сценарија П и О

У склопу анализа осетљивости у сценаријима П и О, варијација приноса индустријске конопље за  $\pm 2.5\text{t/ha}$  има најмањи еколошки утицај на све показатеље осим потенцијала еутрофикације (*EP*) и трошења абиотских ресурса (*ADP*). Основни разлог за већи утицај на та два показатеља је производња, превоз и примена ђубрива. Варијацијом приноса индустријске конопље највише се утиче на потенцијал глобалног загревање (*GWP*), док сви остали показатељи осим трошења абиотских ресурса (*ADP*) варијарију мање од 2%. Производња поздера индустријске конопље у склопу животног века функционалне јединице А испусти  $0.152\text{kgCO}_{2\text{eq}}/\text{kg}$  поздера. Варијацијом приноса сламе за  $\pm 2.5\text{t/ha}$ , производња  $1\text{kg}$  поздера испусти од  $0.139\text{kgCO}_{2\text{eq}}$  ( $O_{\text{Пик}}$ ) до  $0.173\text{kgCO}_{2\text{eq}}$  ( $P_{\text{Пик}}$ ). Варијација приноса од  $5\text{t}$  између сценарија  $P_{\text{Пик}}$  и  $O_{\text{Пик}}$  варира потенцијал глобалног загревање (*GWP*) за  $1.079\text{kgCO}_{2\text{eq}}$ . Иако низак принос нема значајан утицај на остале показатеље, смањивање приноса у функционалној јединици А са  $10\text{t}$  на  $8.85\text{t}$  је довољно да показатељ за потенцијал глобалног загревања постане позитиван ( $0.002\text{kgCO}_{2\text{eq}}$ ). При истим агрономским уносима, варијације у приносу индустријске конопље могу настати услед варијабилности амбијенталних услова и разлика у квалитету земљишта и агрономске праксе. Пошто неповољне амбијенталне услове није могуће контролисати, спољашњи фактори могу имати значајан утицај на показатељ за потенцијал глобалног загревање (*GWP*).

Варијација уноса ђубрива такође може утицати на повећање приноса сламе индустријске конопље. Међутим режим ђубрења делује комбиновано са осталим утицајним факторима и није нужно да повећана потрошња ђубрива резултује већим приносом, уколико су временски услови неповољни или је примењена лоша агрономска пракса. Повећавање уноса азота за 50% применом КАН 27% ђубрива има изражен утицај на потенцијал глобалног загревање (*GWP*), али мали утицај на остале показатеље (Прилог А Табела ПА1). У контексту функционалне јединице А унос од  $120\text{kg}$  азота са приносом од  $7.5\text{t}$  или  $10\text{t/ha}$  резултира у позитивном показатељу за потенцијал глобалног загревање (*GWP*). Постизање испод просечног приноса од  $7.5\text{t/ha}$  има поготово лош утицај на емисије гасова стаклене баште ( $GWP = 0.956\text{kgCO}_{2\text{eq}}$ ). Међутим повећани режим ђубрења са приносом од  $12.5\text{t/ha}$  умањује еколошке утицаје свих показатеља осим потенцијала трошења абиотских (*ADP*) и фосилних ресурса (*ADPf*). Стога је неопходан режим ђубрења дефинисан према датом локалитету како би се балансирао повољан однос уноса ђубрива са очекиваним приносима. Може се закључити да са режимом ђубрења дефинисаним у функционалној јединици А ( $80\text{kg N}$ ,  $60\text{kg P}$  и  $60\text{kg K}$ ), разлике у приносу до  $2.5\text{t}$  имају приметан утицај само на потенцијал глобалног загревања (*GWP*) и да мање варијације ( $\pm 1\text{t/ha}$ ) око просека од  $10\text{t}$  не би имале значајан утицај на еколошку исправност бетона од конопље и креча.

Дефинисане варијације у раздаљини превоза сировина у фази изградње (П<sub>РП</sub> и О<sub>РП</sub>) имају значајнији еколошки утицај на све еколошке показатеље осим потенцијала еутрофикације (*EP*) и трошења абиотских ресурса (*ADP*) у односу на дефинисане варијације у приносу индустријске конопље (П<sub>РП</sub> и О<sub>РП</sub>). Највећа варијабилност је поново присутна код показатеља за потенцијал глобалног загревања (*GWP*), док сви остали показатељи осим потенцијала трошења абиотских ресурса (*ADP*), варирају мање од  $\pm 4\%$  у односу на резултате функционалне јединице А. Варијација просечне раздаљине превоза сировина од 110km између сценарија П<sub>РП</sub> и О<sub>РП</sub> варира потенцијал глобалног загревања (*GWP*) за 2.152kgCO<sub>2eq</sub>. У контексту функционалне јединице А довољно је повећати просечну раздаљину превоза свих сировина у фази изградње за само 13.5km да би потенцијал глобалног загревања постао позитиван (*GWP* = 0.003kgCO<sub>2eq</sub>). У пракси је свакако могуће да раздаљине превоза сировина буду веће од 180km (П<sub>РП</sub>), те раздаљине превоза могу имати значајнији еколошки утицај у животном веку зида од бетона од конопље и креча. Пошто су сировине за бетон од конопље и креча специјализовани производи, у пракси се може очекивати успостављање ограниченог броја произвођача, те су раздаљине превоза везива и поздера од преко 180km могуће. Начин за смањивање еколошких утицаја превоза је оптимизација логистике превоза материјала на нивоу целог објекта коме припада функционална јединица. Стога превоз свих материјала у фази изградње у склопу већих тура (>32t EURO 5) у контексту функционалне јединице А (*GWP* = -1.508kgCO<sub>2eq</sub>) и сценарија П<sub>РП</sub> (*GWP* = -0.980kgCO<sub>2eq</sub>), резултује у значајно мањим емисијама гасова стаклене баште (Прилог А Табела ПА2).

Пошто везиво чини највећи део масе функционалне јединице А варијације у раздаљини превоза везива могу имати највећи еколошки утицај. У контексту функционалне јединице А превоз везива са једног краја земље на други 525km (прим. Суботица – Врање) има неповољнији утицај на потенцијал глобалног загревања (*GWP* = 3.805kgCO<sub>2eq</sub>) од песимистичних фактора везивања CO<sub>2</sub>. Пошто комерцијални произвођачи до сада нису издали еколошку декларацију за везиво за бетон од конопље и креча, тешко је контекстуализовати еколошки утицај увоза везива у односу на потенцијалну производњу у Србији. Француске процене животног циклуса бетона од конопље и креча декларишу вредности од 0.778kgCO<sub>2eq</sub> до 0.835kgCO<sub>2eq</sub>/kg везива. (Pretot, Collet & Garnier 2014, Levasseur, Lecompte & Maxime 2017), па се вредност од 0.831kgCO<sub>2eq</sub>/kg везива која се користи у функционалној јединици А може сматрати репрезентативном. Превоз везива 1600km (>32t EURO5) од произвођача из Бесансона у Француској до локације у Србији у контексту функционалне јединице А повећава потенцијал глобалног загревања на 7.349kgCO<sub>2eq</sub>. (Прилог А Табела ПА2). Јасно је да смањивање раздаљине превоза материјала у фази изградње игра важну улогу у смањивању негативних еколошких утицаја животног циклуса бетона од конопље и креча. Постоје



значајне предности у успостављању локалне производње у Србији уколико еколошки утицаји производње могу бити приближни еколошким утицајима производње у Западној Европи.

Последња индивидуална анализа осетљивости се тиче степена формирања грађевинског отпада у фази изградње (П<sub>ГО</sub> и О<sub>ГО</sub>). Варијација степена формирања грађевинског отпада има највећи утицај на све еколошке показатеље осим потенцијала глобалног загревања (*GWP*) и трошења абнотских ресурса (*ADP*). Уочава се важност добре грађевинске праксе пошто нето разлика у емисији гасова стаклене баште између 0% (П<sub>ГО</sub>) и 10% (О<sub>ГО</sub>) грађевинског отпада износи 3.786kgCO<sub>2eq</sub>. Формирање грађевинског отпада има приметан утицај на потенцијал еутрофикације (*EP*) у односу на функционалну јединицу А ( $\pm 17.3\%$ ) услед производње и одлагања додатног поздера и дрвета. Сви остали показатељи варирају мање од  $\pm 5\%$  у односу на функционалну јединицу А. Стога ниједна од индивидуалних анализа осетљивости у склопу сценарија П и О није значајније утицала на показатеље за потенцијал ацидификације (*AP*), стварања фотохемијског озона (POCP), трошења стратосферског озона (*ODP*) и трошења фосилних ресурса (*ADPf*). Иако потпуна елиминација грађевинског отпада није у пракси лак задатак, смањивање степена формирања грађевинског отпада испод 5% би имало значајан позитиван еколошки утицај на животни циклуса бетона од конопље и креча.

Сценарији П и О обухватају широк обим потенцијалних еколошких утицаја животног века од бетона од конопље и креча у Србији. Еколошки утицаји животног века сценарији П у односу на сценарио О су приказани у Табели 6.9.

Табела 6.3: Поређење еколошких утицаја животног века сценарија П и О

Сценарио	<i>GWP</i> kgCO <sub>2eq</sub> .	<i>AP</i> kgSO <sub>2eq</sub> .	<i>EP</i> PO <sub>4eq</sub> .	<i>POCP</i> kgC <sub>2</sub> H <sub>4eq</sub> .	<i>ODP</i> kgCFC-11 <sub>eq</sub> .	<i>ADP</i> kgSb <sub>eq</sub> .	<i>ADPf</i> MJ <sub>eq</sub> .
П	8.362	0.209	0.162	9.04E-03	5.83E-06	7.88E-05	536.078
О	-9.006	0.181	0.108	7.84E-03	4.85E-06	5.47E-05	449.748
% у односу на П	<b>-207.70%</b>	<b>-13.44%</b>	<b>-33.33%</b>	<b>-13.27%</b>	<b>-16.88%</b>	<b>-30.54%</b>	<b>-16.10%</b>

Кумулативни еколошки утицаји анализа осетљивости су најизраженији код показатеља за потенцијал глобалног загревања (*GWP*), што може значајно утицати на еколошку исправност и перцепцију бетона од конопље и креча. Све песимистичне анализе осетљивости су резултирале у

позитивном показатељу за потенцијал глобалног загревања (*GWP*), док су оптимистичне анализе осетљивости даље спуштале нето емисије гасова стаклене баште. Сценарио П испусти 17.368kgCO<sub>2eq.</sub> више гасова стаклене баште од сценарија О, што је значајна разлика, пошто се испољава у тонама CO<sub>2</sub> на нивоу објекта који може имати неколико стотина квадратних метара зида од бетона од конопље и креча. Збиром свих анализа осетљивости варијације код осталих еколошких показатеља постају израженије. Највеће варијације од преко 30% су присутне код потенцијала еутрофикације (*EP*) и трошење абиотских ресурса (*ADP*) због већег удела ђубрива према приносу, одлагања дрвеног отпада и дужих раздаљина превоза. Стога је евидентно да је правилно управљање отпадом значајно за еколошку исправност грађевинских материјала на биолошкој основи. Остали показатељи су релативно сагласни и варирају од 13.37% до 16.88%.

Иако је факторе везивања CO<sub>2</sub> тешко контролисати или проценити у пракси, они и са нижим вредностима значајно умањују биланс емисија гасова стаклене баште. Приносе сламе индустријске конопље и количине грађевинског отпада је лакше измерити и контролисати применом добре праксе. Раздаљине превоза су лако мерљиве, али изван развоја локалне производње раздаљине превоза није увек могуће контролисати кроз добру праксу, пошто зависе од локације градилишта у односу на произвођача. Табела 6.10 указује на неколико различитих сценарија у оквиру граница дефинисаних сценаријима П и О. Сценарио П<sub>СУ</sub>+П<sub>КАР</sub>+О<sub>ПИК</sub>+О<sub>РД</sub>+О<sub>ГО</sub> анализира еколошке импликације животног века зида са песимистичним факторима везивања CO<sub>2</sub> и оптимистичним параметрима приноса индустријске конопље, раздаљине превоза сировина и степена формирања грађевинског отпада, док сценарио О<sub>СУ</sub>+О<sub>КАР</sub>+П<sub>ПИК</sub>+П<sub>РД</sub>+П<sub>ГО</sub> испитује супротан случај.

Табела 6.4: Еколошки утицаји животног века комбинованих сценарија у оквиру граница сценарија П и О

Сценарио	<i>GWP</i> kgCO <sub>2eq.</sub>	<i>AP</i> kgSO <sub>2eq.</sub>	<i>EP</i> PO <sub>4eq.</sub>	<i>POCP</i> kgC <sub>2</sub> H <sub>4eq.</sub>	<i>ODP</i> kgCFC-11 <sub>eq.</sub>	<i>ADP</i> kgSb <sub>eq.</sub>	<i>ADPf</i> MJ <sub>eq.</sub>
А	-0.261	0.194	0.134	8.42E-03	5.32E-06	6.51E-05	490.486
П <sub>СУ</sub> +П <sub>КАР</sub> +О <sub>ПИК</sub> +О <sub>РД</sub> +О <sub>ГО</sub>	1.264	0.181	0.108	7.84E-03	4.85E-06	5.47E-05	449.748
% у односу на А	<b>+583.59%</b>	<b>-6.81%</b>	<b>-19.46%</b>	<b>-6.84%</b>	<b>-8.78%</b>	<b>-15.92%</b>	<b>-8.31%</b>
О <sub>СУ</sub> +О <sub>КАР</sub> +П <sub>ПИК</sub> +П <sub>РД</sub> +П <sub>ГО</sub>	-1.421	0.209	0.162	9.04E-03	5.83E-06	7.88E-05	536.078
% у односу на А	<b>-443.45%</b>	<b>+7.67%</b>	<b>+20.80%</b>	<b>+7.42%</b>	<b>+9.74%</b>	<b>+21.05%</b>	<b>+9.30%</b>

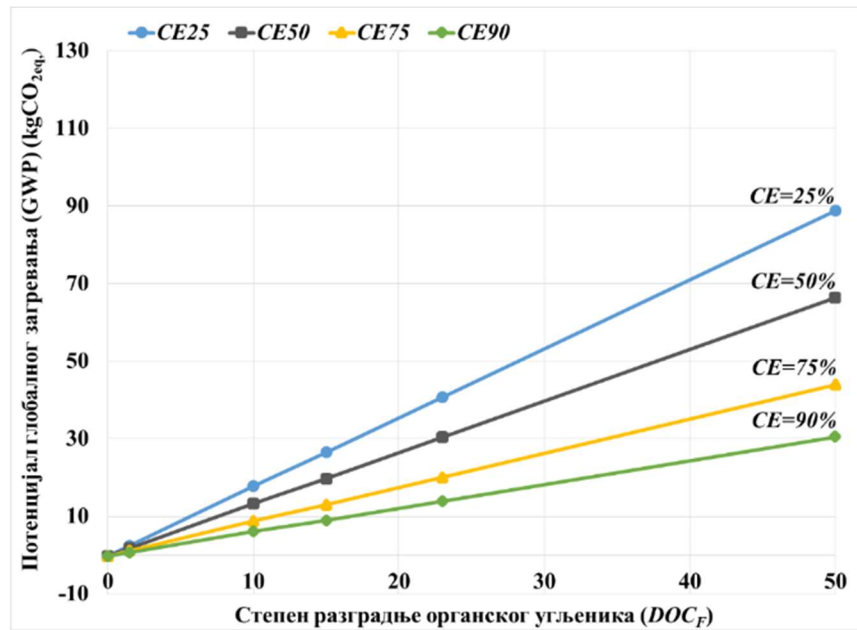
Када су фактори везивања CO<sub>2</sub> ниски (П<sub>СУ</sub> и П<sub>КАР</sub>) а остали параметри изнад просека (О<sub>ПИК</sub>, О<sub>РД</sub> и О<sub>ГО</sub>), показатељ за потенцијал глобалног загревања (*GWP*) постаје позитиван (1.264kgCO<sub>2eq.</sub>), што показује да високи приноси индустријске конопље, ниске раздаљине превоза и одлична грађевинска пракса нису довољни да надоместе ниске факторе везивања CO<sub>2</sub>. Међутим остали показатељи су једнаки вредностима из сценарија О и нижи него за функционалну јединицу А. Уколико су фактори везивања CO<sub>2</sub> високи (О<sub>СУ</sub> и О<sub>КАР</sub>), а остале варијабиле испод просека (П<sub>ПИК</sub>, П<sub>РД</sub> и П<sub>ГО</sub>), показатељ за глобално загревање (*GWP*) постаје нижи (-1.421kgCO<sub>2eq.</sub>) од вредности за функционалну јединицу А, док се утицаји осталих еколошких показатеља изједначавају са вредностима из сценарија П. Са аспекта потенцијала глобалног загревања (*GWP*), високи фактори везивања CO<sub>2</sub> могу да прикрију лошију праксу у производњи или изградњи зидова бетона од конопље и креча, али немају утицај на остале еколошке показатеље. Према значајним методологијама вредновања еколошких показатеља (BRE 2008, Anderson, Shiers & Steele 2009, Mundy 2015, Abbe & Hamilton, Zampori & Pant 2019), показатељ потенцијала глобалног загревања се највише вреднује, те се може аргументовати да фактори везивања CO<sub>2</sub> највише дефинишу еколошку исправност бетона од конопље и креча. Међутим разлагање органског угљеника у поздериу на крају животног века потенцијално може да умањи дугорочне предности везивања CO<sub>2</sub>.

### 6.3 Процена животног циклуса: Алтернативни сценарио фазе одлагања (А+ФО<sub>DOC/CE</sub>)

Резултати процене животног циклуса у склопу сценарија А+ФО<sub>DOC/CE</sub> су приказани у Табели 6.5 и Слици 6.5.

Табела 6.5: Показатељ потенцијала глобалног загревања (*GWP*) (kgCO<sub>2eq.</sub>) према степену разградње органског угљеника (*DOC<sub>F</sub>*) и ефикасности скупљања гасова стаклене баште (*CE*)

Ефикасност сакупљања гасова стаклене баште ( <i>CE</i> )	Степен разградње органског угљеника ( <i>DOC<sub>F</sub></i> ) [%]					
	0	1.5	10	15	23	50
<i>CE</i> 25%	-0.621	2.410	17.728	26.445	40.689	88.760
<i>CE</i> 50%	-0.621	1.736	13.240	19.714	30.367	66.322
<i>CE</i> 75%	-0.621	1.063	8.753	12.983	20.046	43.885
<i>CE</i> 90%	-0.621	0.659	6.060	8.944	13.853	30.422



Слика 6.5: Утицај варијације степена разградње органског угљеника и ефикасности скупљања гасова стаклене баште на потенцијал глобалног загревања ( $GWP$ )

Сагледавајући велику варијабилност података из Табеле 6.5, уочава се да неизвесност у фази одлагања може имати значајан утицај на резултате процене животног циклуса бетона од конопље и креча. Табела 6.6 пореди потенцијалну емисију гасова стаклене баште након разградње поздера са количином гасова стаклена баште везаном у поздеру током узгоја индустријске конопље.

Табела 6.6: Однос емисија гасова стаклене баште након разградње поздера на депонији и количине гасова стаклене баште везаних у поздеру током узгоја индустријске конопље

Сценарио		Емисије гасова стаклене баште на депонији (kgCO <sub>2eq.</sub> )	Фракција гасова стаклене баште испуштених у фази одлагања у односу на гасове стаклене баште везане у фази производње (% од -43.438kgCO <sub>2eq.</sub> )
Скраћеница	Ефикасност сакупљања гасова стаклене баште (CE) (%)		
<b>DOC<sub>F</sub>=1.5%</b>			
A+ΦO <sub>1.5%/25%</sub>	25	2.671	<b>6.15</b>
A+ΦO <sub>1.5%/50%</sub>	50	1.998	<b>4.60</b>
A+ΦO <sub>1.5%/75%</sub>	75	1.324	<b>3.05</b>
A+ΦO <sub>1.5%/90%</sub>	90	0.920	<b>2.12</b>
<b>DOC<sub>F</sub>=10%</b>			
A+ΦO <sub>10%/25%</sub>	25	17.804	<b>40.99</b>
A+ΦO <sub>10%/50%</sub>	50	13.317	<b>30.66</b>
A+ΦO <sub>10%/75%</sub>	75	8.829	<b>20.33</b>
A+ΦO <sub>10%/90%</sub>	90	6.137	<b>14.13</b>
<b>DOC<sub>F</sub>=15%</b>			
A+ΦO <sub>15%/25%</sub>	25	26.706	<b>61.48</b>
A+ΦO <sub>15%/50%</sub>	50	19.975	<b>45.98</b>
A+ΦO <sub>15%/75%</sub>	75	13.244	<b>30.49</b>
A+ΦO <sub>15%/90%</sub>	90	9.205	<b>21.19</b>
<b>DOC<sub>F</sub>=23%</b>			
A+ΦO <sub>23%/25%</sub>	25	40.950	<b>94.27</b>
A+ΦO <sub>23%/50%</sub>	50	30.628	<b>70.51</b>
A+ΦO <sub>23%/75%</sub>	75	20.307	<b>46.75</b>
A+ΦO <sub>23%/90%</sub>	90	14.114	<b>32.49</b>
<b>DOC<sub>F</sub>=50%</b>			
A+ΦO <sub>50%/25%</sub>	25	89.021	<b>204.94</b>
A+ΦO <sub>50%/50%</sub>	50	66.583	<b>153.28</b>
A+ΦO <sub>50%/75%</sub>	75	44.146	<b>101.63</b>
A+ΦO <sub>50%/90%</sub>	90	30.683	<b>70.64</b>

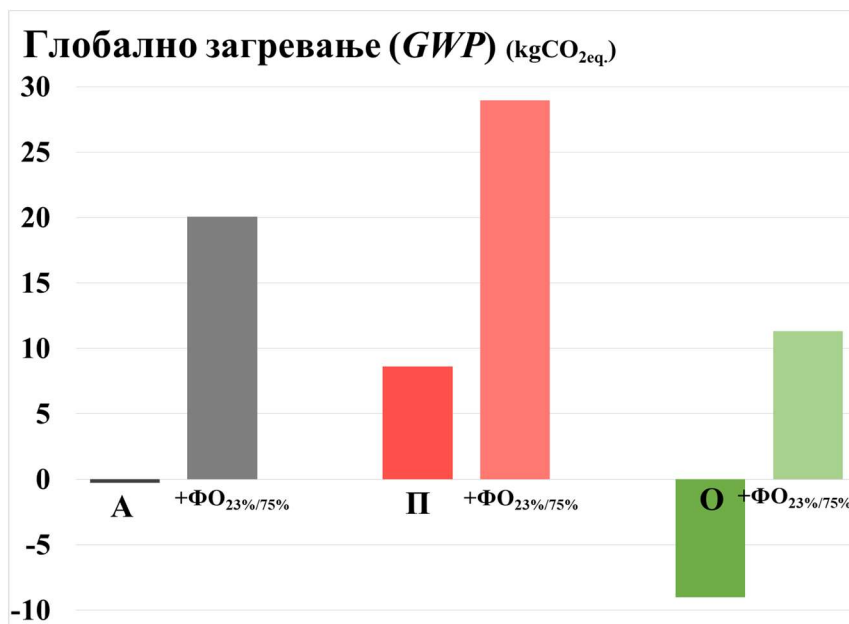
При фактору разградње органског угљеника ( $DOC_F$ ) од 1.5% у атмосферу се враћа само 2.12% (A+ΦO<sub>1.5%/90%</sub>) до 6.15% (A+ΦO<sub>1.5%/25%</sub>) гасова стаклене баште везаних у поздеру приликом фазе производње. Потенцијал глобалног загревања ( $GWP$ ) у сценарију A+ΦO<sub>10%/90</sub> је нижи него у песимистичном сценарију П. У овом сценарију у атмосферу се враћа мање од 14.13% гасова стаклене баште везаних у поздеру у фази производње. У контексту функционалне јединице А при ефикасности скупљања метана (CE) од 75%, потенцијал глобалног загревања ( $GWP$ ) остаје нижи од резултата сценарија П (+8.362kgCO<sub>2eq.</sub>) у случају да степен разградње органског угљеника ( $DOC_F$ ) остане испод 9.5% (A+ΦO<sub>9.5%/75%</sub> =+8.311kgCO<sub>2eq.</sub>). При ефикасности скупљања метана (CE) од 90% потенцијал глобалног загревања ( $GWP$ ) остаје нижи од резултата сценарија П у случају да степен разградње органског угљеника ( $DOC_F$ ) остане испод 13.7% (A+ΦO<sub>13.7%/75%</sub> =+8.331kgCO<sub>2eq.</sub>). У

контексту оптимистичног сценарија О, потенцијал глобалног загревања ( $GWP$ ) остаје негативан све до фактора разлагања органског угљеника ( $DOC_F$ ) од 9.5% ( $O+\Phi_{O,9.5\%/75\%}=-0.046\text{kgCO}_{2\text{eq}}$ ) или 13.7% ( $O+\Phi_{O,9.5\%/75\%}=-0.025\text{kgCO}_{2\text{eq}}$ ) у зависности од ефикасности система за сакупљање гасова стаклене баште. Евидентно је да и са ниским фактором разградње органског угљеника ( $DOC_F$ ), разградња поздера може имати значајан утицај на потенцијал глобалног загревања, али да у контексту просечног (А) и оптимистичног (О) животног циклуса зида од бетона од конопље и креча, висок степен сакупљања гасова стаклене баште на депонији може задржати емисије стаклене баште испод песимистичног сценарија (П).

Потреба за ефикасним системима за сакупљања гасова стаклене баште на депонијама је поготово евидентна са потенцијално вишим фактором распадања органског угљеника ( $DOC_F$ ). Уколико је систем за сакупљање гасова стаклене баште неефикасан, при фактору разградње органског угљеника ( $DOC_F$ ) од 23% ( $A+\Phi_{O,23\%/25\%}$ ) се скоро сав  $\text{CO}_2$  везан кроз поздер враћа у атмосферу (94.27%). При највишем фактору распадања органског угљеника ( $DOC_F$ ) неефикасно сакупљање и уништавање метана на уређеној депонији ( $A+\Phi_{O,50\%/25\%}$ ) има катастрофалан утицај на еколошку исправност материјала, пошто се практично испусти дупло више гасова стаклене баште него што се веже поздером у фази производње (204.94%). Ипак на основу постојећих експерименталних истраживања о разлагању дрвета (Wang et al. 2011, Wang et al. 2013, Wang & Barlaz 2016, Ximenes et al. 2015), може се претпоставити да је фактор распадања органског угљеника ( $DOC_F$ ) од 50% превише конзервативан. Међутим јасно је да развој инфраструктуре за управљање отпадом и имплементација савремених депонија са системима за сакупљање гасова стаклене баште представља важан корак ка постизању еколошке одрживости у Србији.

Може се претпоставити да би присуство везива деловало као инхибитор на разлагање поздера и да би фактор распадања органског угљеника ( $DOC_F$ ) у обложеном поздеру био нижи него у сировом поздеру. Међутим пошто експериментални подаци који би потврдили ту претпоставку нису доступни, у даљем истраживању фактор распадања органског угљеника ( $DOC_F$ ) од 23% се дефинише као типична вредност за разлагање поздера у бетону од конопље и креча. При фактору распадања органског угљеника ( $DOC_F$ ) од 23%, сви резултати потенцијала глобалног загревања ( $GWP$ ) су виши од резултата за песимистичан сценарио П. Као очекивана вредност након 5 година рада савремене депоније, дефинише се ефикасност система сакупљања гасова стаклене баште (СЕ) од 75%. Стога се сценарио  $A+\Phi_{O,23\%/75\%}$  може дефинисати као репрезентативан сценарио за животног века зида бетона од конопље и креча уколико дође до разлагања поздера на крају животног века материјала. Показатељ глобалног загревања ( $GWP$ ) сценарија  $A+\Phi_{O,23\%/75\%}$  износи  $20.046\text{kgCO}_{2\text{eq}}$  и

подразумева да се 46.75% гасова стаклене баште везаних у поздери испусти на крају животног века зида. Ова вредност је за 20.307kgCO<sub>2eq.</sub> виша од потенцијала глобалног загревања (*GWP*) функционалне јединице А, што указује да од свих испитаних фактора разградивост поздера на крају животног века има потенцијал да највише утиче на биланс емисија гасова стаклене баште. Слика 6.10 показује ефекат алтернативне фазе одлагања (+ΦO<sub>23%/75%</sub>) у контексту функционалне јединице А и сценарија П и О.



Слика 6.6: Утицај алтернативног сценарија фазе одлагања (+ΦO<sub>23%/75%</sub>) на потенцијал глобалног загревања (*GWP*)

Разградивост поздера на крају животног века умањује способност бетона од конопље и креча да дугорочно извуче и сачува CO<sub>2</sub> из атмосфере. Међутим и везивање CO<sub>2</sub> на 100 или више<sup>51</sup> година је значајна еколошка предност материјала и уз ефикасан систем сакупљања гасова стаклене баште на депонији, могуће је дугорочно сачувати више од пола ако не и већину везаног CO<sub>2</sub> у зависности од евентуалног фактора разградње органског угљеника (*DOC<sub>F</sub>*) поздера.

<sup>51</sup> Уколико се бетон од конопље и креча рециклира на крају животног века.

## 6.4 Процена животног циклуса: префарбрикација бетона од конопље и креча

Еколошки утицај префабрикације бетона од конопље и креча у блокове се анализира проценом животног циклуса сценарија Б<sub>32</sub>, Б<sub>27</sub> и Би (5.5).

### 6.4.1 Процена животног циклуса сценарија Б<sub>32</sub>

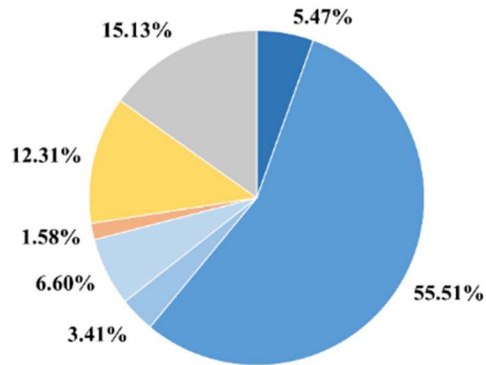
Сценарио Б<sub>32</sub> представља зид изграђен од блокова од бетона од конопље и креча који имају иста физичка својства као бетон од конопље и креча у функционалној јединици А. Резултати процене животног циклуса сценарија Б<sub>32</sub> су приказани у Табели 6.7 и Слици 6.7.

Табела 6.7: Еколошки утицаји животног циклуса сценарија Б<sub>32</sub>

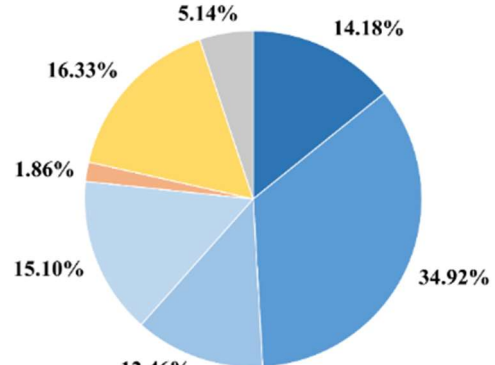
Процес		<i>GWP</i> kgCO <sub>2</sub> eq.	<i>AP</i> kgSO <sub>2</sub> eq.	<i>EP</i> PO <sub>4</sub> eq.	<i>POCP</i> kgC <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq.	<i>ODP</i> kgCFC-11eq.	<i>ADP</i> kgSbeq.	<i>ADPf</i> MJeq.
А1- А3	Производња поздера индусријске конопље	5.001	0.034	0.028	1.42E-03	2.99E-07	2.54E-05	43.423
	Везивање CO <sub>2</sub> : поздер	-47.637						
	Производња сировина за везиво	50.709	0.075	0.030	3.49E-03	3.72E-06	9.74E-06	292.862
	Превоз сировина и производња блокова	6.029	0.038	0.021	1.51E-03	1.77E-06	2.08E-05	86.555
	Производња дрвене грађе	3.113	0.030	0.020	1.24E-03	2.01E-07	3.62E-06	32.818
	Везивање CO <sub>2</sub> : дрвена грађа	-10.780						
А4	Превоз материјала до локације	1.443	0.005	0.001	1.86E-04	2.74E-07	3.75E-06	21.734
А5	Изградња функционалне јединице	11.244	0.031	0.022	1.63E-03	9.42E-07	2.02E-05	86.974
	Везивање CO <sub>2</sub> : отпад дрво и поздер	-2.921						
Б1- Б7	Карбонатизација функционалне јединице	-24.167						
	Карбонатизација малтера	-2.229						
	Карбонатизација отпадног везива и малтера	-1.189						
Ц1- Ц4	Одлагање функционалне јединице	13.820	0.015	0.006	5.13E-04	5.51E-07	7.85E-06	46.170
<b>УКУПНО</b>		<b>2.469</b>	<b>0.227</b>	<b>0.128</b>	<b>9.98E-03</b>	<b>7.76E-06</b>	<b>9.13E-05</b>	<b>610.536</b>



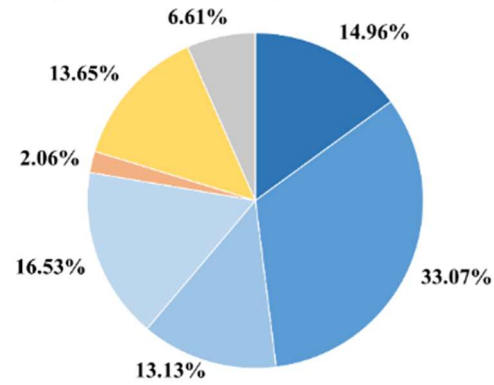
Глобално загревање (*GWP*) (kgCO<sub>2</sub>eq.)



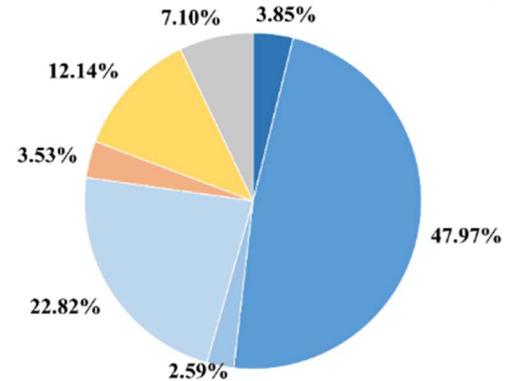
Стварање фотохемијског озона (*POCP*) (kgC<sub>2</sub>H<sub>4</sub>eq.)



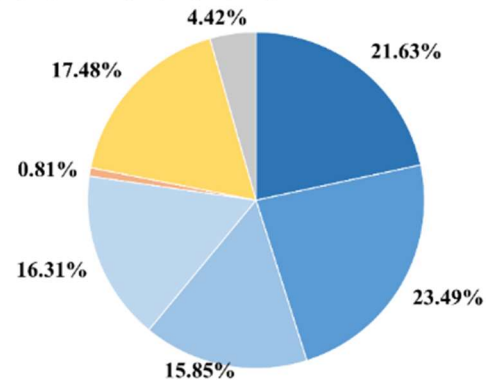
Ацидификација (*AP*) (kgSO<sub>2</sub>eq.)



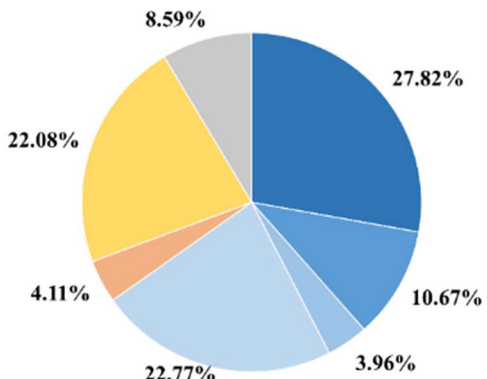
Трошење стратосферског озона (*ODP*) (kgCFC-11eq.)



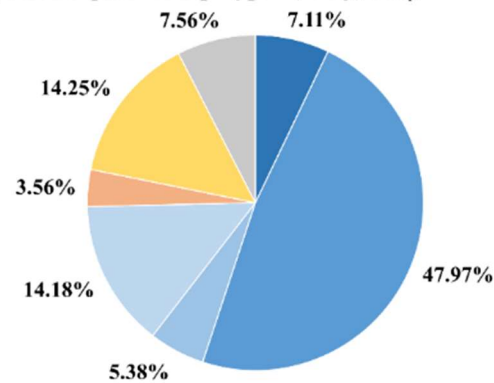
Еутрофикација (*EP*) (kgPO<sub>4</sub>eq.)



Трошење абиотских ресурса (*ADP*) (kgSb<sub>eq</sub>)



Трошење фосилних ресурса (*ADPf*) (MJ<sub>eq</sub>)



- Производња поздера индустријске конопље
- Производња сировина за везиво
- Производња дрвета
- Превоз сировина и производња блокова
- Превоз сировина до локације
- Уградња зида
- Одлагање функционалне јединице

Слика 6.7: Релативни еколошки утицаји процеса у животном циклусу сценарија Б<sub>32</sub>

Сценарио Б<sub>32</sub> има позитиван потенцијал глобалног загревања ( $GWP = 2.469\text{kgCO}_{2\text{eq}}$ ), што указује да дефинисани зид од блокова од конопље и креча испушта више гасова стаклене баште него што може да веже током животног века. У сценарију Б<sub>32</sub> фаза производње укључује производњу и превоз поздера и сировина за везиво и њихову коначну прераду у блокове од конопље и креча. Поређењем релативних еколошких утицаја процеса у животном циклусу функционалне јединице А (Слика 6.1) са релативним еколошким утицајима процеса у животном циклусу сценарија Б<sub>32</sub> (Слика 6.7) уочавају се релативне разлике између примене бетона од конопље и креча *in situ* и префабриковањем. Производња везива у сценарију Б<sub>32</sub> и даље има индивидуално најизраженији еколошки утицај, али је релативни удео производње везива углавном нижи него у животном циклусу функционалне јединице А. Услед додатне производње малтера и челичних спојница за уградњу зида, фаза изградње има значајнији релативни удео у животном циклусу сценарија Б<sub>32</sub> у поређењу са функционалном јединицом А. Уградња функционалне јединице А има виши релативни еколошки удео само за потенцијал еутрофикације (*EP*), услед разградње отпадног поздера индустријске конопље. Процеси производње блокова такође имају приметан еколошки утицај и доприносе од 6.60% (*GWP*) до 22.77% (*ODP*) укупних еколошких утицаја у животном циклусу сценарија Б<sub>32</sub>. Производња блокова и фаза изградње заједно доприносе од 18.91% (*GWP*) до 44.85% (*ADP*) укупних еколошких утицаја, што указује на значајан еколошки утицај додатних процеса везаних за животно циклус зида од блокова од конопље и креча.

Додатни процеси највише утичу на потенцијал трошења абиотских ресурса (*ADP*) пошто укључују превоз сировина до прерађивачког погона и производњу малтера и челичних спојница. Имају најмањи кумулативни утицај на потенцијал глобалног загревања (*GWP*), пошто производња сировина за везиво и даље индивидуално испушта највише гасова стаклене баште. У склопу процеса производње блокова потрошња струје највише утиче на потенцијал еутрофикације (*EP*), ацидификације (*AP*) и стварања фотохемијског озона (*POCP*), док превоз сировина има највећи утицај на остале показатеље. Током изградње производња малтера има највећи индивидуални еколошки утицај на све показатеље осим потенцијала трошења абиотских ресурса (*ADP*). Еколошка исправност примене блокова од конопље и креча се стога може поправити ефикаснијом производњом блокова, применом мање количине амбалаже и рационалном применом малтера за спајање блокова. Ипак и поред додатних процеса, производња везива и даље има највећи индивидуални утицај на све еколошке показатеље осим потенцијала трошења абиотских ресурса (*ADP*). Стога се еколошка исправност блокова од конопље и креча може највише поправити нижом применом везива у мешавини за блокове.

#### 6.4.2 Процена животног циклуса сценарији Б<sub>27</sub> и Би

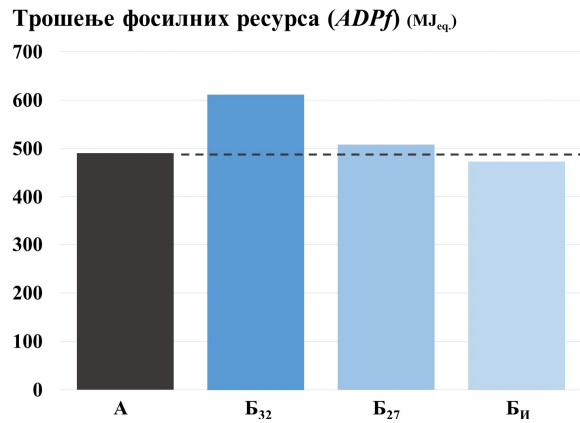
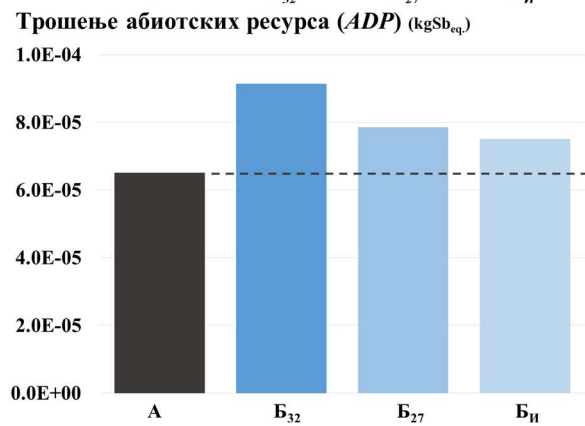
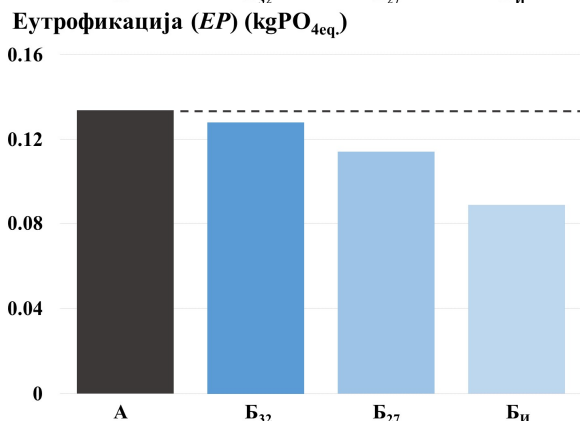
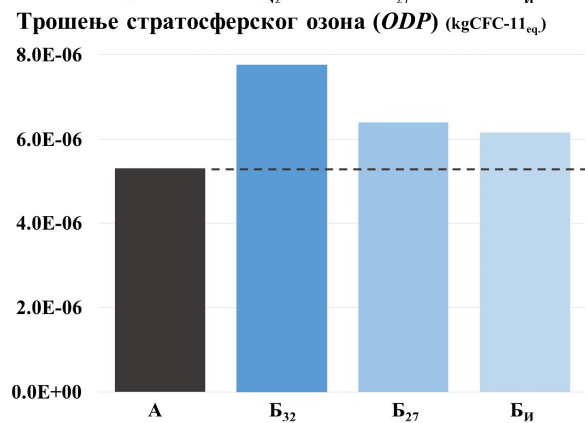
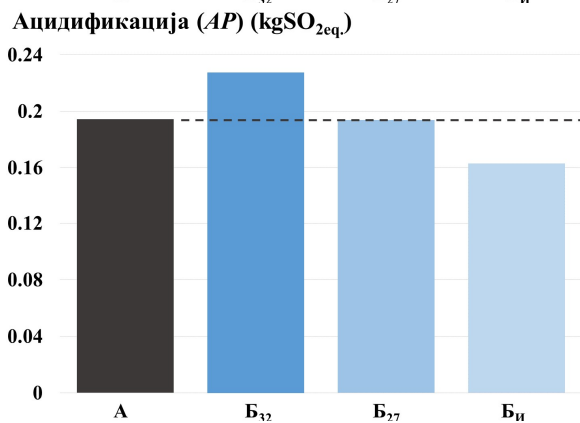
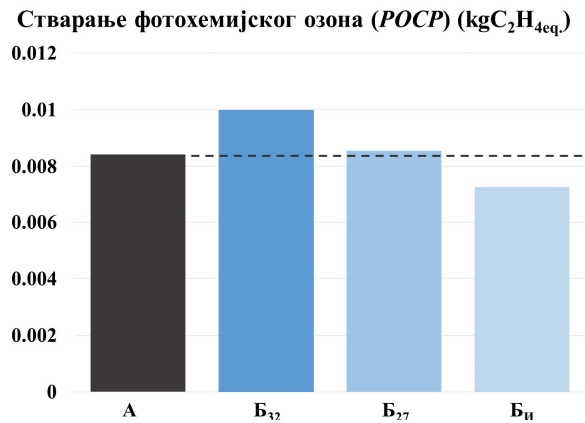
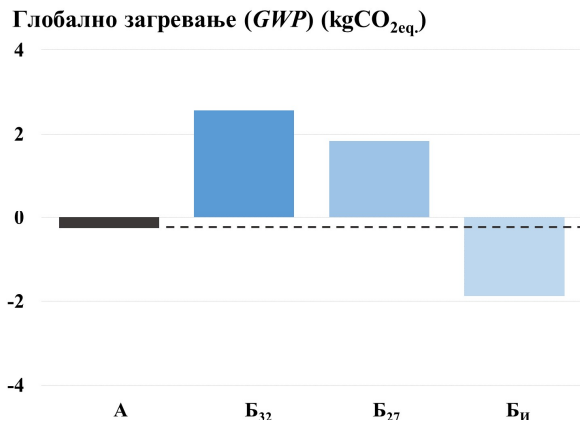
Сценарији Б<sub>27</sub> и Би претпостављају да бетон од конопље и креча који се користи у блоковима има иста физичка својства као блокови белгијског произвођача блокова (Léonard & Gros Lambert 2018). Резултати животног циклуса сценарија Б<sub>27</sub> су приказани у Табели ПА3 и Слици ПА1 у Прилогу А. Уочава се да су релативни односи између основних процеса у животном циклусу сценарија Б<sub>27</sub> веома слични релативним односима присутним у сценарију Б<sub>32</sub>. У сценарију Б<sub>27</sub> долази до благог релативног раста еколошког утицаја процеса производње дрвене грађе и уградње зида. Унос дрвене грађе и челичних спојница у сценарију Б<sub>27</sub> је исти као и у сценарију Б<sub>32</sub>, али су уноси поздера и везива нижи. Релативни пад уноса малтера за уградњу блокова је такође нижи у односу на унос поздера и везива. Резултати животног циклуса сценарија Би су приказани у Табели ПА4 и Слици ПА2 у Прилогу А. Релативни односи процеса у животном циклусу сценарија Би су такође веома слични односима у сценарију Б<sub>32</sub>. У сценарију Би долази до благог релативног раста готово свих основних процеса у животном циклусу зида, пошто процес производње дрвене грађе није присутан.

#### 6.4.3 Компаративна анализа сценарија префабрикације бетона од конопље и креча

Резултати процене животног циклуса сценарија Б<sub>32</sub>, Б<sub>27</sub> и Би упоредо са резултатима животног века функционалне јединице А су приказани у Табели 6.8 и Слици 6.8.

Табела 6.8: Еколошки утицај животног циклуса зидова од префарбрикованих блокова од бетона од конопље и креча у односу на функционалну јединицу А

Функционална јединица	<i>GWP</i> kgCO <sub>2eq.</sub>	<i>AP</i> kgSO <sub>2eq.</sub>	<i>EP</i> PO <sub>4eq.</sub>	<i>POCP</i> kgC <sub>2</sub> H <sub>4eq.</sub>	<i>ODP</i> kgCFC-11 <sub>eq.</sub>	<i>ADP</i> kgSb <sub>eq.</sub>	<i>ADPf</i> MJ <sub>eq.</sub>
А	-0.261	0.194	0.134	8.42E-03	5.32E-06	6.51E-05	490.486
Б <sub>32</sub>	2.469	0.227	0.128	9.98E-03	7.76E-06	9.13E-05	610.536
% у односу на А	<b>+1044.5%</b>	<b>+16.82%</b>	<b>-4.36%</b>	<b>+18.62%</b>	<b>+45.94%</b>	<b>+40.26%</b>	<b>+24.48%</b>
Б <sub>27</sub>	1.838	0.194	0.114	8.55E-03	6.40E-06	7.86E-05	508.068
% у односу на А	<b>+802.83%</b>	<b>-0.28%</b>	<b>-14.61%</b>	<b>+1.54%</b>	<b>+20.35%</b>	<b>+20.74%</b>	<b>+3.58%</b>
Би	-1.880	0.163	0.089	7.27E-03	6.16E-06	7.51E-05	472.844
% у односу на А	<b>-619.24%</b>	<b>-16.19%</b>	<b>-33.48%</b>	<b>-13.66%</b>	<b>+15.86%</b>	<b>+15.41%</b>	<b>-3.60%</b>



Слика 6.8: Еколошки утицај животног циклуса сценарија А, B<sub>32</sub>, B<sub>27</sub> и Би

Директним поређењем резултата функционалне јединице А и сценарија Б<sub>32</sub> (Табела 6.13) уочава се да је најизраженија разлика у резултатима присутна код потенцијала глобалног загревања (*GWP*). Нето разлика у емисијама износи +2.73kgCO<sub>2eq</sub>, али вероватно највећи утицај на еколошку перцепцију има чињеница да је потенцијал глобалног загревања (*GWP*) код функционалне јединице А негативан, а код сценарија Б<sub>32</sub> позитиван. Постоје значајне разлике у уносима између функционалне јединице А и сценарија Б<sub>32</sub>. Уз додатне уносе за производњу блокова, малтера и челичних спојница, услед веће топлотне проводљивости и дебљине зида, сценарио Б<sub>32</sub> захтева и додатних 2.9kg поздера и 5.8kg везива у односу на функционалну јединицу А. Стога сценарио Б<sub>32</sub> има лошије резултате за све еколошке показатеље, осим потенцијала еутрофикације (*EP*) пошто се претпоставља да отпадни поздер у блоковима остаје инертан. Међутим уз потенцијал глобалног загревања (*GWP*), додатни процеси у сценарију Б<sub>32</sub> поготово негативно утичу на потенцијал трошења стратосферског озона (*ODP*) и абиотских ресурса (*ADP*). Пошто производња поздера везује више CO<sub>2</sub> него што испусти, сценарио Б<sub>32</sub> заправо везује више CO<sub>2</sub> у фази производње од функционалне јединице А, што потврђује негативан еколошки утицај додатних процеса у фази производње и изградње. Директним поређењем резултата функционалне јединице А и Б<sub>32</sub> уочава се да када бетон од конопље и креча има иста физичка својства, *in situ* примена има значајне еколошке предности у односу на префабрикацију у блокове.

Пошто садржи 2.5kg више поздера, функционална јединица А везује више CO<sub>2</sub> од сценарија Б<sub>27</sub> у фази производње. Међутим функционална јединица А садржи 7.7kg више везива од сценарија Б<sub>27</sub>, што се одражава негативно на емисије гасова стаклене баште. И поред разлике у садржају везива сценарио Б<sub>27</sub> емитује +2.099kgCO<sub>2eq</sub> више од функционалне јединице А, што указује да ни нижи уноси основних сировина, нису увек довољни да надоместе све еколошке утицаје префабрикације и производње малтера и спојница.

Ипак могу се уочити еколошке предности сценарија Б<sub>27</sub> у односу на Б<sub>32</sub>, пошто сценарио Б<sub>27</sub> подразумева изградњу тањег зида и захтева мање уносе. Стога је важно оптимизовати физичка својства блокова, пошто побољшање односа стабљике и везива и смањивање топлотне проводљивости блокова од бетона од конопље и креча има значајне еколошке предности. Приближнији еколошки утицаји животног века сценарија Б<sub>27</sub> у односу на функционалну јединицу А су уочљиви код свих показатеља изван потенцијала глобалног загревања (*GWP*). Пошто су резултати функционалне јединице А супериорни у свим показатељима, осим потенцијала ацидификације (*AP*) и еутрофикације (*EP*), уочава се да процеси производње блокова, малтера и челичних спојница имају највећи утицај на утврђене еколошке разлике између *in situ* апликације и

префабрикације. Стога произилази да мање побољшање односа поздера и везива и смањивање топлотне проводљивости блокова од бетона од конопље и креча нису довољни да учине префабрикацију у блокове еколошки исправнијом методом примене материјала.

Избацивањем структурног система од дрвета из зида од блокова у сценарију Би, сви показатељи осим потенцијала трошења стратосферског озона (*ODP*) и абиотских ресурса (*ADP*) постају нижи у односу на резултате функционалне јединице А. Најзначајнија разлика је присутна код потенцијала глобалног загревања (*GWP*) који је за 1.688kgCO<sub>2eq.</sub> нижи од резултата функционалне јединице А. Сценарио Би садржи 6.7kg мање везива од функционалне јединице А и 3.2kg мање малтера од сценарија Б<sub>27</sub>, што је уз отклањање структурног система од дрвета довољно да се надоместе емисије гасова стаклене баште асоциране са додатним процесима у животном веку зида од блокова од бетона од конопље и креча. Међутим треба имати у виду да би се ова разлика смањила уколико би дошло до пада *pH* и распадања поздера у блоковима одбаченим у фази изградње. Пошто *in situ* бетон од конопље и креча не може да се користи без рамовске дрвене конструкције, евидентно је да је примена самостално сложених блокова еколошки исправнија опција када се бетон од конопље и креча користи као испуна око скелетног конструктивног система. Функционална јединица А је носећи зид, а сценарио Би није, стога се не може аргументовати да је примена префабрикованих блокова у склопу објекта са носећом скелетном конструкцијом свеобухватно еколошки исправнија од традиционалне *in situ* изградње бетона од конопље и креча. Детаљније поређење предности и недостатака *in situ* примене и префабрикације би било могуће направити на нивоу објекта.

У пракси примена блокова може имати додатне бенефиције на нивоу објекта пошто може омогућити бржу изградњу објекта. Пошто блокови могу имати нижу топлотну проводљивост, објекти од блокова могу имати тање зидове. Међутим иако примена два реда блокова може умањити проблем топлотних мостова, спојевима малтера и даље представљају прекиде у топлотном омотачу објекта, док су *in situ* зидови од бетона од конопље и креча монолитске конструкције. Слој малтера између реда блокова би неминовно умањивао хигроскопни капацитет зида. Лоша имплементација зидова од блокова са дебљим спојевима од малтера би уз потребу за већим уносима малтера, такође компромитовала топлотне перформансе зида. Проблем топлотних мостова би се могао ублажити применом малтера са ниском топлотном проводљивошћу, али Белгијски произвођач блокова не декларише топлотну проводљивост свог малтера. Како не би дошло до прекида у топлотном омотачу објекта италијански произвођач блокова од бетона од конопље и креча (Теспосанара n.d.) прописује зидање малтером који садржи везиво за блокове и поздер. Међутим овај малтер такође мора имати вишу топлотну проводљивост од блокова, пошто садржи већу количину везива у

мешавини и топлота пролази управно на правац изливања материјала као и код *in situ* израде. *In situ* зидови од бетона од конопље и креча би стога у зависности од имплементације могли имати еколошке предности са аспекта оперативне енергије објекта. На основу резултата приказаних у Табели 6.8 закључује се да је на нивоу зида, *in situ* примена материјала еколошки исправнија метода за изградњу спољашњих зидова у дрвеном рамовском конструктивном систему. Изградња зида од блокова од конопље и креча у дрвеном рамовском конструктивном систему би могла бити еколошки исправнија само уколико би се однос поздера и везива у блоку могао спустити значајно ниже од 1:1.9. У контексту примене бетона од конопље и креча као испуна у комбинацији са скелетним конструктивним системима, блокови имају еколошку предност пошто не захтевају примену секундарне дрвене конструкције. Стога релативна еколошка исправност примене бетона од конопље и креча *in situ* или у форми блокова, превасходно зависи од контекста примене.

## 6.5 Процена животног циклуса: Утицај завршне обраде

Еколошки утицај примене завршне обраде на зид од бетона од конопље и креча се анализира проценом животног циклуса сценарија А+М<sub>КТ</sub> (5.6.1), А+М<sub>ПХК</sub> (5.6.2) и А+ВФ<sub>д</sub> (5.6.3).

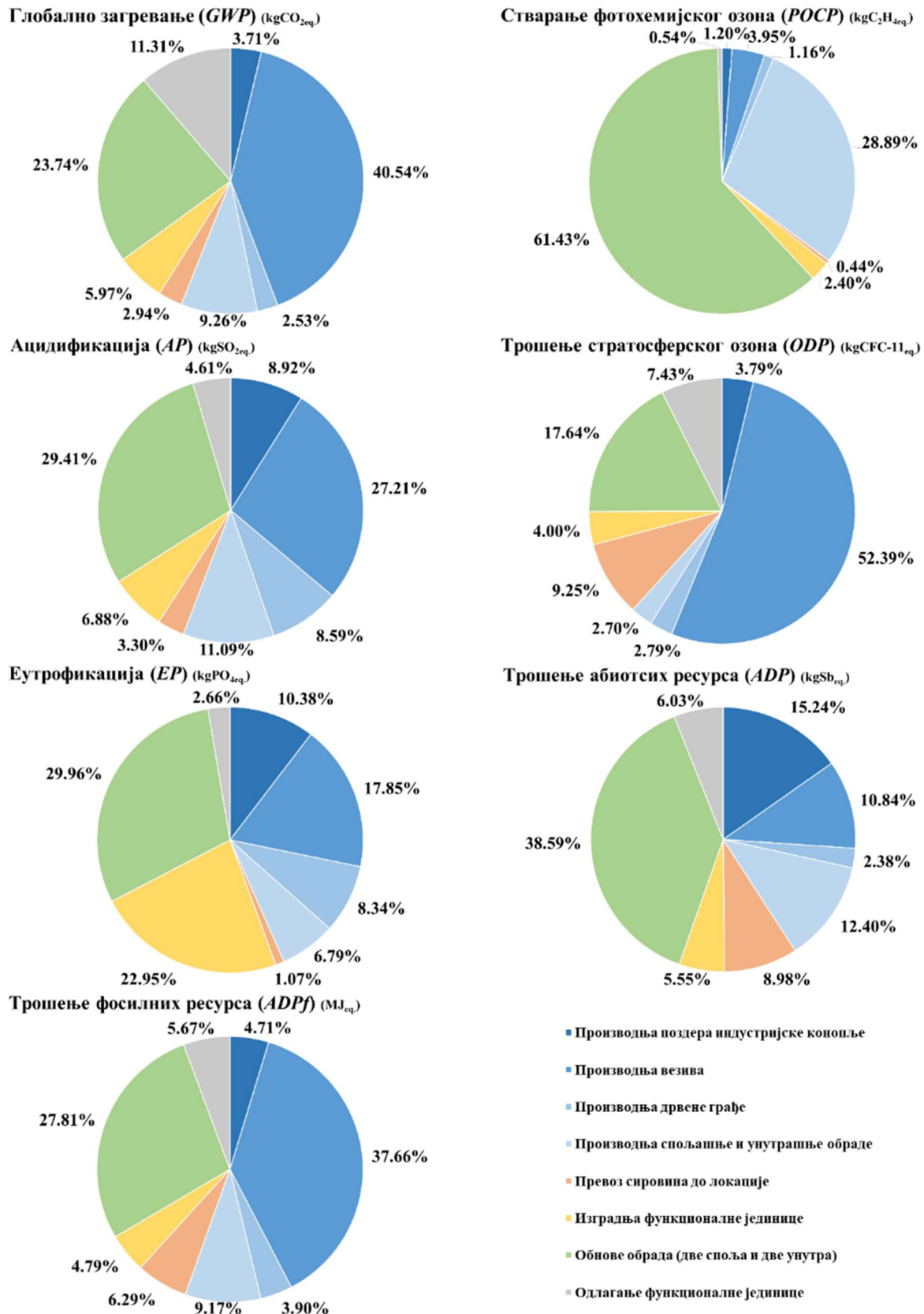
### 6.5.1 Процена животног циклуса сценарија А+М<sub>КТ</sub>

Сценарио А+М<sub>КТ</sub> се дефинише применом обраде од малтера од кречног теста са спољашње и унутрашње стране функционалне јединице А. Производња кречног теста и песка за малтер се приписује фази производње, док фаза коришћења укључује обнове обрада. Резултати процене животног циклуса сценарија А+М<sub>КТ</sub> приказани су у Табели 6.9 и Слици 6.9.

Табела 6.9: Еколошки утицаји животног века сценарија А+М<sub>КТ</sub>

Процес		<i>GWP</i> kgCO <sub>2eq.</sub>	<i>AP</i> kgSO <sub>2eq.</sub>	<i>EP</i> PO <sub>4eq.</sub>	<i>POCP</i> kgC <sub>2</sub> H <sub>4eq.</sub>	<i>ODP</i> kgCFC-11 <sub>eq.</sub>	<i>ADP</i> kgSb <sub>eq.</sub>	<i>ADPf</i> MJ <sub>eq.</sub>
А1- А3	Производња поздера индусријске конопље	4.560	0.031	0.025	1.29E-03	2.73E-07	2.32E-05	39.595
	Везивање CO <sub>2</sub> : поздер	-43.438						
	Производња везива	49.878	0.095	0.043	4.24E-03	3.77E-06	1.65E-05	316.960
	Производња дрвене грађе	3.113	0.030	0.020	1.24E-03	2.01E-07	3.62E-06	32.818
	Везивање CO <sub>2</sub> : дрвена грађа	-10.780						
	Производња спољашње и унутрашње обраде	11.396	0.038	0.017	3.10E-02	1.94E-07	1.88E-05	77.206
А4	Превоз материјала до локације	3.613	0.011	0.003	4.73E-04	6.65E-07	1.36E-05	52.924
А5	Изградња зида	7.346	0.024	0.056	2.57E-03	2.88E-07	8.43E-06	40.317
	Везивање CO <sub>2</sub> : отпад поздер и дрво	-2.711						
Б1- Б4	Обнова спољашње и унутрашње обраде	29.201	0.102	0.073	6.59E-02	1.27E-06	5.86E-05	234.015
	Карбонатизација везива	-22.036						
	Карбонатизација малтера	-14.955						
	Карбонатизација отпадног везива и малтера	-1.076						
Ц1- Ц4	Одлагање зида	13.916	0.016	0.006	5.75E-04	5.34E-07	9.16E-06	47.706
<b>УКУПНО</b>		<b>28.026</b>	<b>0.347</b>	<b>0.243</b>	<b>1.07E-01</b>	<b>7.19E-06</b>	<b>1.52E-04</b>	<b>841.541</b>





Слика 6.9: Релативни еколошки утицаји процеса у животном веку сценарија A+M<sub>КТ</sub>

У сценарију A+M<sub>кт</sub> фаза производње укључује и производњу сировина за спољашњу и унутрашњу обраду зида од бетона од конопље и креча. Фаза производње има највећи еколошки утицај на све показатеље осим потенцијала стварања фотохемијског озона (*POCP*). Међутим при осталим еколошким показатељима релативни утицај фазе производње је умањен услед обнова малтера у фази коришћења. Релативни утицај на потенцијал глобалног загревања (*GWP*) пада на 56.04%, док само још потенцијал трошења стратосферског озона (*ODP*=61.67%) и фосилних ресурса (*ADP*<sub>f</sub>=55.44%) имају еколошки удео од преко 50%. Услед емисија супстанци које превасходно утичу на потенцијал глобалног загревања (*GWP*), ацидификације (*AP*) и стварања фотохемијског озона (*POCP*) приликом сагоревања дрвета и примене пластичне амбалаже која утиче на потрошњу фосилних ресурса (*ADP*<sub>f</sub>), производња спољашњег и унутрашњег малтера генерално има виши релативни еколошки утицај од производње поздера и дрвене грађе. Услед ниже потрошње струје производња малтера има нижи утицај на потенцијал еутрофикације (*EP*) и трошења стратосферског озона (*ODP*) у односу на производњу поздера и дрвене грађе.

Производња везива потребног за израду функционалне јединице и даље има највећи индивидуални утицај на све показатеље осим потенцијала еутрофикације (*EP*), стварања фотохемијског озона (*POCP*) и трошења абиотских ресурса (*ADP*) и има већи еколошки утицај од производње малтера од кречног теста код скоро свих еколошких показатеља. Међутим производња, превоз и имплементација две обнове малтера у фази коришћења значајно повећава еколошки утицај малтера од кречног теста на животни век зида од бетона од конопље и креча. Производња малтера у фази производње и фаза коришћења заједно имају релативни удео од 33.00% потенцијала глобалног загревања (*GWP*) и удео од 20.43% (*ODP*) до 90.42% (*POCP*) у осталим еколошким показатељима. Већински утицај малтера на потенцијал стварања фотохемијског озона (*POCP*) указује на основну еколошку ману неефикасног сагоревања дрвета. Евидентно је да обрада зида малтером од кречног теста има значајан еколошки утицај на животни век зида од бетона од конопље и креча и да се еколошка исправност материјала мора посматрати и у контексту коначне примене у пракси.

Утицај обраде зида од бетона од конопље и креча је посебно евидентан када се резултати процене животног циклуса сценарија A+M<sub>кт</sub> упореде са резултатима функционалне јединице А која је необрађена (Табела 6.10).

Табела 6.10: Еколошки утицај животног циклуса сценарија А+М<sub>КТ</sub> у односу на функционалну јединицу А

Сценарио	<i>GWP</i> kgCO <sub>2eq.</sub>	<i>AP</i> kgSO <sub>2eq.</sub>	<i>EP</i> PO <sub>4eq.</sub>	<i>POCP</i> kgC <sub>2</sub> H <sub>4eq.</sub>	<i>ODP</i> kgCFC-11 <sub>eq.</sub>	<i>ADPe</i> kgSb <sub>eq.</sub>	<i>ADPf</i> MJ <sub>eq.</sub>
А	-0.261	0.194	0.134	8.42E-03	5.32E-06	6.51E-05	490.486
А+М <sub>КТ</sub>	28.026	0.347	0.243	1.07E-01	7.19E-06	1.52E-04	841.541
% у односу на А	<b>+10819%</b>	<b>+78.57%</b>	<b>+81.75%</b>	<b>+1175.7%</b>	<b>+35.20%</b>	<b>+133.44%</b>	<b>+71.57%</b>

Примена обраде има најзначајнији утицај на потенцијал глобалног загревања (*GWP*). Сценарио А+М<sub>КТ</sub> испусти 28.287kgCO<sub>2eq.</sub> више од функционалне јединице А. Производња кречног теста највише утиче на додатне емисије гасове стаклене баште. Емисије гасова стаклене баште у традиционалној производњи креча се могу смањити уколико би процес печења кречњака постао ефикаснији. Повећана ефикасност пећи би резултирала у мањим емисијама СН<sub>4</sub> и мањој потрошњи дрвета. Сам процес сагоревања дрвета за производњу 1kg живог креча заправо емитује више гасова стаклене баште од сагоревања природног гаса, али иницијално везивање СО<sub>2</sub> фотосинтезом надомешта директне емисије СО<sub>2</sub> приликом сагоревања дрвета. Потрошња дрвета је стога кључни аспект еколошке исправности традиционалне производње креча и неопходно је обезбедити одрживе изворе дрвета за гориво.

Повећање вредности је приметно и за остале показатеље, пошто неефикасно сагоревање велике количине дрвета има негативан утицај и на потенцијал ацидификације (*AP*), еутрофикације (*EP*) и стварања фотохемијског озона (*POCP*). Унапређење технике печења и мања примена дрвета би деловали позитивно и на те показатеље. Амбалажа за паковање кречног теста и песка највише утиче на пораст потенцијала трошења фосилних ресурса (*ADPf*). Један од начина за смањење амбалаже би био превоз сировина на велико, али би то захтевало постављање инфраструктуре за гашење креча на локацији и постојање услова за чување песка од спољашњих елемената. На западним тржиштима кречно тесто се генерално продаје самостално у кофама од 25kg, бурадима од 250kg или као део већ припремљеног малтера у „џамбо“ врећама од 1t. Стога би алтернатива могла бити достављање већ припремљеног малтера у великој амбалаж од 1t. Уз то примена рециклиране буради или пластике за прављење амбалаже би имала позитиван еколошки утицај. Пошто обрада унутрашње стране није неопходна један од основних начина за смањивање еколошког утицаја сценарија А+М<sub>КТ</sub> је заправо остављање унутрашње стране зида необрађеном. У том случају потенцијал климатских промена (*GWP*) пада са 28.026kgCO<sub>2eq.</sub> на 15.102kgCO<sub>2eq.</sub>. Јасно је да додавање обраде на зид од бетона од

коноплѐ и креча мења еколошку перцепцију материјала, пошто сви еколошки показатељи значајно расту. Стога је, ради контекстуализације резултата значајно упоредити обрађени зид од бетона од конопље и креча са алтернативним конструктивним склоповима.

### 6.5.2 Процена животног циклуса сценарија А+М<sub>ПХК</sub> и А+ВФ<sub>д</sub>

Сценарио А+М<sub>ПХК</sub> се дефинише применом обраде од малтера од природног хидрауличног креча са спољашње и унутрашње стране функционалне јединице А. Резултати животног циклуса сценарија А+М<sub>ПХК</sub> су приказани у Табели ПА5 и Слици ПА3 у Прилогу А. Уочава се да су релативни односи између основних процеса у животном циклусу сценарија А+М<sub>ПХК</sub> веома слични релативним односима присутним у сценарију А+М<sub>КТ</sub> у свим показатељима осим потенцијала стварања фотохемијског озона (*POCP*). Релативни удео производње и обнове површинских обрада од малтера од природног хидрауличног креча на потенцијал стварања фотохемијског озона (*POCP*) је више него упола мањи у односу на обраде од кречног теста у сценарију А+М<sub>КТ</sub>. Апликоване обраде од природног хидрауличног креча имају повољнији еколошки утицај од обрада од кречног теста. Процеси производње и обнове површинских обрада зида имају нижи релативни удео у животном циклусу сценарија А+М<sub>ПХК</sub> и у осталим еколошким показатељима, али су разлике мање изражене. Стога апликоване обраде природног хидрауличног креча имају повољнији еколошки утицај од обрада од кречног теста.

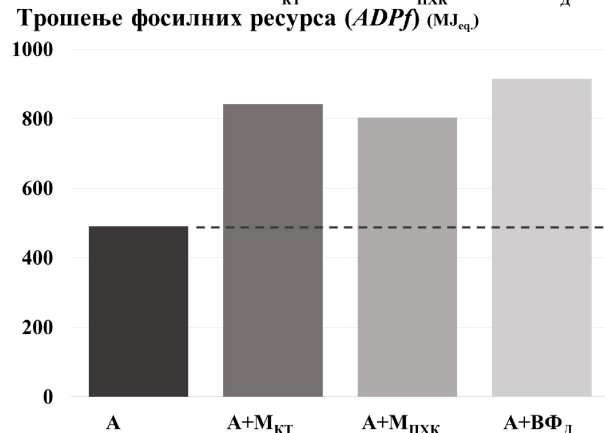
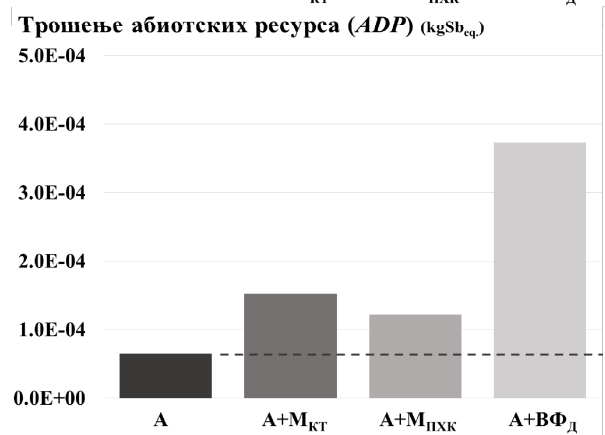
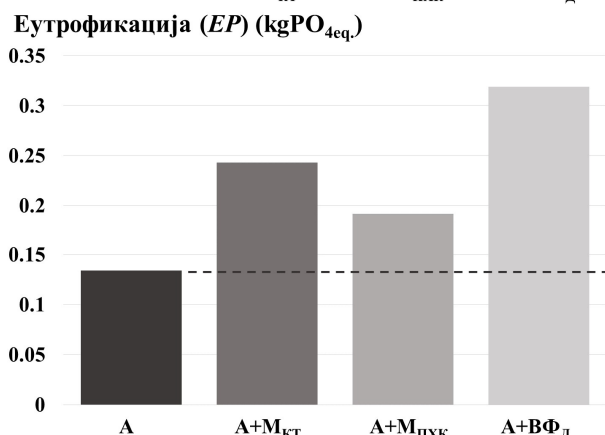
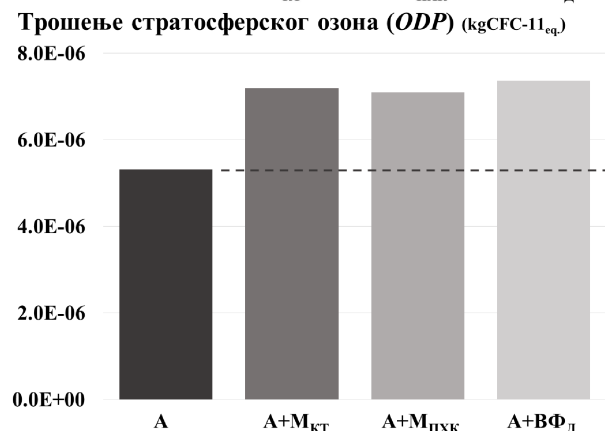
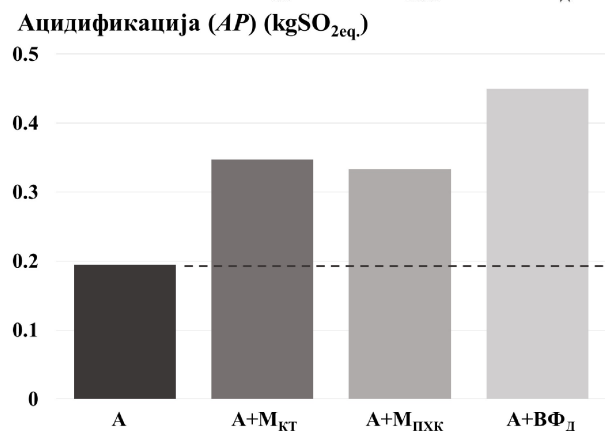
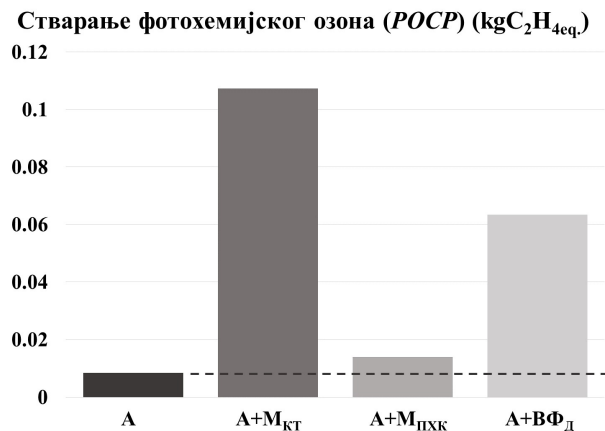
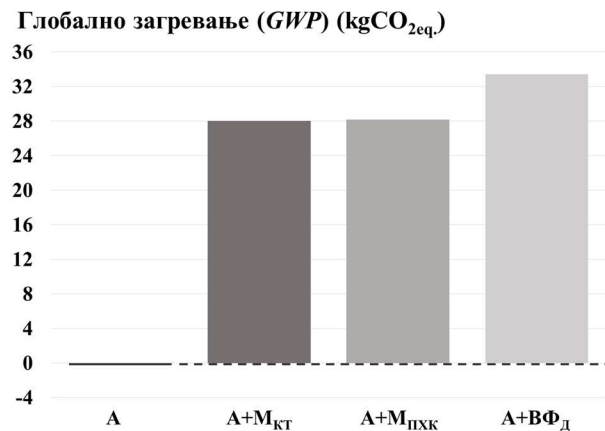
Сценарио А+М<sub>КТ</sub> се дефинише применом вентилисане фасаде са храстовом даском са спољашње и малтера од кречног теста са унутрашње стране функционалне јединице А. Резултати животног циклуса сценарија А+ВФ<sub>д</sub> су приказани у Табели ПА6 и Слици ПА4 у Прилогу А. Услед разлика у емисијама асоцираним са производњом кречног малтера и дрвене грађе, разлике у релативним односима процеса унутар животног циклуса сценарија А+ВФ<sub>д</sub> и А+М<sub>КТ</sub> су приметније. Релативни удео производње и обнове површинских обрада је у сценарију А+ВФ<sub>д</sub> виши у свим еколошким показатељима осим потенцијала трошења стратосферског озона (*ODP*). Најизраженије разлике су присутне код потенцијала глобалног загревања (*GWP*), ацидификације (*AP*), еутрофикације (*EP*) и трошења абиотских ресурса (*ADP*). Међутим, треба имати у виду да, иако је фаза коришћења у сценарију А+ВФ<sub>д</sub> заслужна за чак 40.18% емисија гасова стаклене баште, велики део ових емисија настају као резултат сагоревања отпадног дрвета и неутралишу се када се узме у обзир CO<sub>2</sub> везан у дрвеној грађи и храстовој дасци. Закључује се да применом различитих врста површинских обрада зида, производња везива у многим еколошким показатељима више није еколошки наудицајнији процес у животном циклусу зида од бетона од конопље и креча.

### 6.5.3 Компаративна анализа сценарија завршне обраде функционалне јединице А

Како би се боље упоредиле различите обраде зида од бетона од конопље и креча, Табела 6.10 пореди резултате сценарија А+М<sub>ПХК</sub> и А+ВФ<sub>ДА</sub> са резултатима сценарија А+М<sub>КТ</sub>. Резултати у Табели 6.10 су илустровани у Слици 6.11.

Табела 6.11: Поређење еколошких утицаја животног циклуса сценарија А+М<sub>ПХК</sub> и А+ВФ<sub>ДА</sub> са резултатима сценарија А+М<sub>КТ</sub>

Сценарио	<i>GWP</i> kgCO <sub>2</sub> eq.	<i>AP</i> kgSO <sub>2</sub> eq.	<i>EP</i> PO <sub>4</sub> eq.	<i>POCP</i> kgC <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq.	<i>ODP</i> kgCFC-11eq.	<i>ADP</i> kgSb <sub>eq.</sub>	<i>ADPf</i> MJ <sub>eq.</sub>
<b>А+М<sub>КТ</sub></b>	28.026	0.347	0.243	1.07E-01	7.19E-06	1.52E-04	841.541
<b>А+М<sub>ПХК</sub></b>	28.163	0.333	0.192	1.40E-02	7.09E-06	1.22E-04	802.815
% у односу на А+М <sub>КТ</sub>	<b>+0.49%</b>	<b>-4.05%</b>	<b>-21.21%</b>	<b>-86.93%</b>	<b>-1.36%</b>	<b>-19.95%</b>	<b>-4.60%</b>
<b>А+ВФ<sub>ДА</sub></b>	33.339	0.450	0.319	6.34E-02	7.36E-06	3.73E-04	914.207
% у односу на А+М <sub>КТ</sub>	<b>+19.14%</b>	<b>+29.45%</b>	<b>+31.09%</b>	<b>-40.95%</b>	<b>+2.45%</b>	<b>+145.60%</b>	<b>+8.63%</b>



Слика 6.10: Еколошки утицај животног циклуса сценарија A+M<sub>КТ</sub>, A+M<sub>ПХК</sub> и A+ВФД

Уочава се да иако се природни хидраулични креч за малтер у сценарију А+М<sub>ПХК</sub> увози из Италије, резултати свих еколошких показатеља осим потенцијала глобалног загревања (*GWP*) су нижи него у сценарију А+М<sub>КТ</sub>. Производња 1kg упакованог природног хидрауличног креча штетније утиче на потенцијал глобалног загревања (*GWP*), ацидификације (*AP*), еутрофикације (*EP*) и трошење фосилних ресурса (*ADP<sub>f</sub>*) од производње 1kg упакованог кречног теста. Међутим услед ниже густине хидрауличног креча потребно је применити мање хидрауличног креча у комбинацији са водом, да би се измалтерисала иста површина. Мања маса за превоз такође умањује еколошки утицај раздаљине превоза. Разлика у потенцијалу глобалног загревања (*GWP*) није значајна на нивоу функционалне јединице, пошто кречно тесто има виши фактор карбонатизације по килограму. Највећа разлика је присутна код потенцијала стварања фотохемијског озона (*POCP*), што указује на основни недостатак неефикасног сагоревања током традиционалне производње креча. Амбалажа за паковање 1kg природног хидрауличног креча је такође мање еколошки штетна од амбалаже за паковање 1kg кречног теста. Примена кречног теста се стога може повољније упоредити са природним хидрауличним кречом уколико се побољша стратегија амбалажирања, али треба узети у обзир да би се у пракси бурад вероватно могла искористити више пута за паковање кречног теста. Амбалажа би се такође могла минимизирати уколико постоје услови за гашење живог креча на локацији изградње.

Пошто резултати сценарија А+М<sub>КТ</sub> и А+М<sub>ПХК</sub> представљају просечне сценарије, услед мале разлике у потенцијалу глобалног загревања (*GWP*), ацидификације (*AP*) и трошења стратосферског озона (*ODP*) и фосилних ресурса (*ADP<sub>f</sub>*), не би се смело закључити да је увоз природног хидрауличног креча дефинитивно еколошки исправнија опција у односу на локалну производњу кречног теста. Ипак јасно је да је неопходно квантификовати еколошки утицај традиционалне производње кречног теста у пракси и радити на побољшавању технологије производње, како би се локална производња могла дефинисати потпуно еколошки исправном.

Резултати процене животног циклуса сценарија А+М<sub>КТ</sub> су повољнији од резултата сценарија А+ВФ<sub>д</sub> у свим еколошким показатељима осим потенцијала стварања фотохемијског озона (*POCP*). Релативна разлика у резултатима је најизраженија код потенцијала трошења абиотских ресурса (*ADP*). Међутим, може се аргументовати да је најзначајнија разлика присутна код потенцијала глобалног загревања (*GWP*), пошто се током животног циклуса сценарија А+ВФ<sub>д</sub> испусти 5.313kgCO<sub>2eq</sub>. више него током животног циклуса сценарија А+М<sub>КТ</sub>. Стога примена фасадне даске од храста емитује више гасова стаклене баште од примене малтера од кречног теста или природног хидрауличног креча. Треба узети у обзир да је коефицијент пролаза топлоте сценарија А+ВФ<sub>д</sub>

( $U=0.283\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ) нижи у односу на  $A+M_{\text{кт}}$  ( $U=0.296\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ), али и да би вентилисана фасада имала неповољнији утицај на хигроскопни капацитет (*moisture buffer value*) зида у односу на кречни малтер. Латиф и др. (Latif et al. 2015) указују да примена паропропусне фолије на зиду од бетона од конопље и креча има значајно штетнији утицај на хигроскопни капацитет од кречног малтера. Алтернатива паропропусној фолији би могао бити слој кречног малтера, али иако би то била замена синтетичког материјала за природни, примена кречног малтера би имала негативнији утицај на све еколошке показатеље. Уз то са фасадном даском испред слоја кречног малтера, хигроскопни капацитет зида би свакако био смањен. Међутим Дакал и др. (Dhakal et al 2019) су указали да је у хладној и влажној клими Ванкувера, вентилисана фасада са фасадном даском имала позитивнији утицај на хигротермално понашање зида од бетона од конопље и креча, пошто се зид у симулацији мање влажио и брже сушио. Треба узети обзир и еколошке импликације избора дрвета за фасадну даску, пошто је храстовина релативно скупо дрво, али би алтернативе могле бити еколошки инфериорне. На домаћем тржишту је доступна фасадна даска из увоза попут сибирског ариша из Русије. Примена увозне даске значајно повећава раздаљину превоза материјала, док би примена локалног меког дрвета попут белог бора захтевала додатно третирање дрвета и потенцијално додатне замене фасадне даске током животног века објекта. Стога се може аргументовати да је у већини случајева малтерисање зида од бетона од конопље и креча кречним малтером еколошки исправније у односу на примену вентилисане фасаде са дрвеном даском.

Пошто у Србији не постоји велика традиција примене фасадне даске ван брдских и планинских предела, примена вентилисаних фасада уз зид од бетона од конопље и креча би по узору студије Дакал и др. (Dhakal et al 2019) могло бити оптимално решење у хладнијим планинским пределима Србије. Свакако примена вентилисане фасаде би могла бити и естетски избор и у том случају би било неопходно мерити еколошку исправност тог сценарија са типичном праксом у Србији. Међутим, пошто би примена вентилисане фасаде била економски скупља опција за примену у Србији, било би значајније упоредити еколошку исправност малтерисаног зида од бетона од конопље и креча са типичном грађевинском праксом.

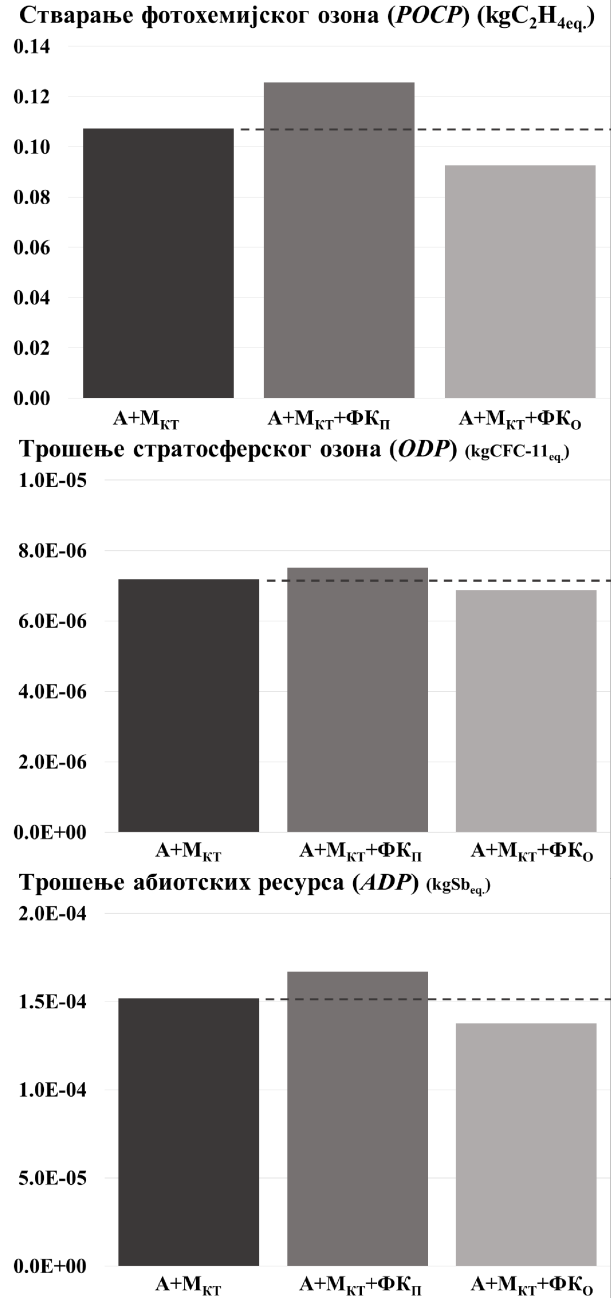
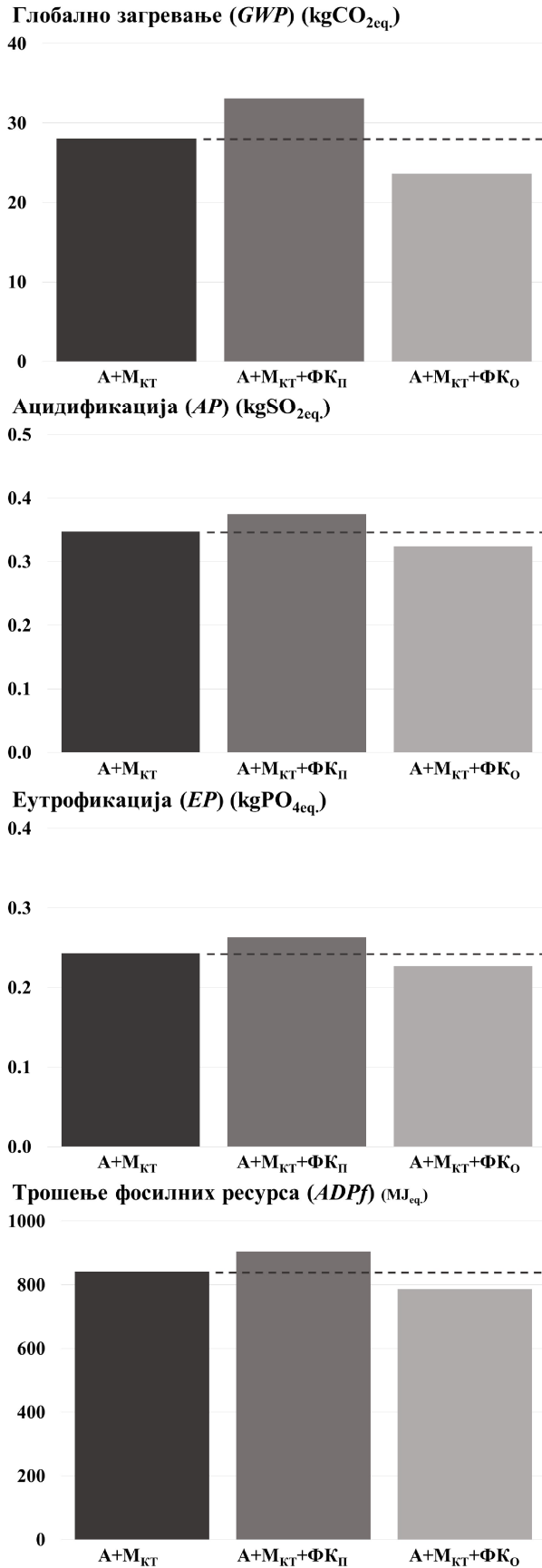


## 6.6 Процена животног циклуса: Утицај различитих режима обнове завршне обраде

Резултати анализе варијација режима обнова у фази коришћења у сценарију А+М<sub>КТ</sub> у новоградњи и зидове од бетона од конопље и креча су приказани у Табели 6.12 и Слици 6.11.

Табела 6.12: Еколошки утицаји различитих режима обнова завршне обраде у сценарију А+М<sub>КТ</sub>

Сценарио	<i>GWP</i> kgCO <sub>2</sub> eq.	<i>AP</i> kgSO <sub>2</sub> eq.	<i>EP</i> PO <sub>4</sub> eq.	<i>POCP</i> kgC <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq.	<i>ODP</i> kgCFC-11eq.	<i>ADPe</i> kgSbeq.	<i>ADPf</i> MJeq.
<b>А+М<sub>КТ</sub></b>	28.026	0.347	0.243	1.07E-01	7.19E-06	1.52E-04	841.541
<b>А+М<sub>КТ</sub>+ФКп</b>	33.095	0.375	0.263	1.26E-01	7.51E-06	1.67E-04	903.923
% у односу на А+М <sub>КТ</sub>	<b>+18.09%</b>	<b>+7.99%</b>	<b>+8.21%</b>	<b>+17.00%</b>	<b>+4.48%</b>	<b>+9.83%</b>	<b>+7.41%</b>
<b>А+М<sub>КТ</sub>+ФКо</b>	23.630	0.324	0.227	9.26E-02	6.88E-06	1.38E-04	786.904
% у односу на А+М <sub>КТ</sub>	<b>-15.69%</b>	<b>-6.72%</b>	<b>-6.77%</b>	<b>-13.72%</b>	<b>-4.35%</b>	<b>-9.47%</b>	<b>-6.49%</b>



Слика 6.11: Еколошки утицај животног циклуса сценарија A+M<sub>КТ</sub>, A+M<sub>КТ</sub>+ФК<sub>П</sub> и A+M<sub>КТ</sub>+ФК<sub>О</sub>

Примена песимистичног режима обнова у фази коришћења има израженији утицај на све еколошке показатеље у односу на примену оптимистичног режима обнова, пошто обнова спољашње завршне обраде захтева веће уносе материјала. Повећани режим обнова најнеповољније утиче на показатеље за потенцијал глобалног загревања (*GWP*) и стварање фотохемијског озона (*POCP*), пошто производња кречног теста најнеповољније утиче на та два еколошка показатеља. Сви остали еколошки показатељи варирају за мање од  $\pm 10\%$ , па се може аргументовати да варирање режима обнова у фази коришћења има релативно низак утицај на остале показатеље. Ипак пошто песимистичан сценарио  $A+M_{KT}+FK_{\Pi}$  само укључује једну додатну обнову спољашње завршне обраде, може се претпоставити да би еколошки утицај и на остале показатеље могао бити значајно неповољнији са екстремнијим режимом обнова.

### **6.7 Поређење резултата са досадашњим научним истраживањима**

Услед значајних разлика у поставкама и методологији процене животног циклуса, није могуће направити директна квантитативна поређења са резултатима објављених научних истраживања. Ради контекстуализације еколошких утицаја животног циклуса зида од бетона од конопље и креча у Србији, корисно је направити квалитативно поређење са резултатима релевантних истраживања. Табела 6.13 пореди резултате потенцијала глобалног загревања (*GWP*) функционалне јединице А и сценарија П, О,  $A+FO_{23\%/75\%}$  и  $A+M_{KT}$  са резултатима основних научних истраживања која дефинишу функционалну јединицу као  $1m^2$  зида од бетона од конопље и креча и примењују приближна везива (65-75% хидратисани креч, 15-35% хидраулични креч и 0-10% пуцолани). Пореди се само потенцијал глобалног загревања (*GWP*), пошто је најистакнутији еколошки показатељ и једини је присутан у свим постојећим истраживањима о животном циклусу бетона од конопље и креча.

Табела 6.13: Поређење потенцијала глобалног загревања (*GWP*) функционалне јединице А са резултатима постојећих истраживања о животном циклусу бетона од конопље и креча

Сценарио	Густина (kg/m <sup>3</sup> )	Дебљ. (mm)	Поздер (kg)	Везиво (kg)	Поздер (kgCO <sub>2eq</sub> /kg поздера)		Везиво (kgCO <sub>2eq</sub> /kg везива)		GWPtotal /GWP (kgCO <sub>2eq</sub> )
					Производ.	Фактор везивања	Производ.	Фактор карбон.	
<b>А</b>	350	290	30	60	0.152	1.448	0.831	0.367	-0.261
<b>П</b>	350	290	30	60	0.173	1.349	0.828	0.331	8.394
<b>О</b>	350	290	30	60	0.139	1.547	0.828	0.403	-8.991
<b>А + ФО<sub>23%/75%</sub></b>	350	290	30	60	0.152	1.448	0.828	0.367	18.775
<b>А+М<sub>КТ</sub></b>	350	290	30	60	0.152	1.448	0.828	0.367	22.724
<b>Постојећа истраживања</b>									
<b>Boutin et al. (2006)</b>	330	260	24.8	54.5	≈ 0.254	1.7	≈0.55-0.6	0.249	-35.53
<b>Ip &amp; Miller (2012)</b>	330	300	30	50	≈ 0.192	1.527	≈0.704	0.571	-36.08 (-26.52 обрађен)
<b>Pretot et al. (2014) (обрађен зид)</b>	390-460	240	20.4	45	≈ 0.18	1.7	0.778	≈ 0.462	-1.6
<b>Arrigioni et al. (2017) (блокови)</b>	330	250	31.4	44.5	0.104	1.84	≈0.799	(0.012) 0.325	(-12.09) -26.01
<b>Sinka et al. (2018) (HL)</b>	322.6	453	56	117.2	/	1.84	/	≈0.487	-19.28
<b>Arehart, Srubar &amp; Nelson III (2020) (Мешавина 20)</b>	300	310	/	/	0.104	1.84	≈1.002	0.47	-11.56 до -17.00

Сва истраживања осим Ариђони и др. (Arrigioni et al. 2017) примењују слична везива као и функционална јединица А (65-75% хидратисани креч, 15-35% хидраулични креч и 0-10% пуцолани). Из истраживања Синка и др. (Sinka et al. 2018) и Ерхарт, Срубар и Нелсон III (Arehart, Srubar & Nelson III 2020), приказани су само сценарији најприкладнији за поређење. Други сценарији у овим истраживањима који су користили алтернативна везива су имали већи потенцијал глобалног загревања (*GWP*). Подаци који нису директно цитирани у истраживањима, већ су израчунати на основу кумулативних резултата приказаних у тексту, табелама или графиконима су означени симболом апроксимације (≈). Потенцијал глобалног загревања функционалне јединице А и сценарија П, А+ФО<sub>23%/75%</sub> и А+М<sub>КТ</sub> су виши од резултата основних постојећих научних истраживања. Један од разлога за то је већи садржај везива у функционалној јединици А. Уз то производња 1kg везива у функционалној јединици А испушта више гасова стаклене баште од везива из већине постојећих истраживања. Пошто инвентари за производњу везива из објављених истраживања нису доступни, није могуће дати дефинитивно образложење, али је могуће да контекст производње у Србији доприноси већим еколошким утицајима производње. Производња везива у

истраживању Ерхарт, Срубар и Нелсон III (2020) испушта више гасова стаклене баште, али њихово везиво садржи 80% хидратисаног креча и 20% хидрауличног креча. Уз то они некритички директно комбинују резултат производње хидратисаног креча у Куби са резултатом производње хидрауличног креча у Француској. Емисије гасова стаклене баште за производњу поздера су генерално ниже у овом истраживању, што се може повезати са вишим приносима индустријске конопље и нижим уносима ђубрива. Евидентно је да услед утицаја на поставку и уносе, географски контекст утиче на резултате процене животног циклуса. Ипак може се аргументовати да су и фундаменталне разлике у инвентару и границама система испитане у анализама осетљивости, независне од специфичног контекста Србије, такође имале значајан утицај на разлике у резултатима.

За разлику од постојећих научних истраживања границе система функционалне јединице А узимају у обзир формирање грађевинског отпада у фази изградње и укључују комплетну фазу одлагања. Уз то сценарији А и П примењују конзервативније факторе везивања  $\text{CO}_2$  поздера од свих истраживања. Примењени фактори карбонатизације су такође значајно нижи од оних у појединим истраживањима. Стога се може аргументовати да је способност материјала да веже  $\text{CO}_2$  сагледана релативно конзервативно. Уколико би се применио фактор везивања  $\text{CO}_2$  од  $1.84\text{kgCO}_{2\text{eq}}/\text{kg}$  поздера у функционалној јединици А, потенцијал глобалног загревања (*GWP*) би спао на  $-12.587\text{kgCO}_{2\text{eq}}$ . Међутим иако је потенцијал глобалног загревања (*GWP*) функционалне јединице А значајно нижи него у већини објављених истраживања, и даље је негативан што указује да прати општи тренд резултата научних истраживања. Резултат истраживања Прето, Коле и Гарније (Pretot, Collet & Garnier 2014) је најсличнији резултату функционалне јединице А, али је њихова функционална јединица обрађена кречним малтером. Обрада функционалне јединице А ( $A+M_{\text{KT}}$ ) резултира у значајном повећању потенцијала глобалног загревања (*GWP*) што указује да резултати ова два истраживања нису у потпуности сагласни. Резултат оптимистичног сценарија О се боље уклапа у резултате објављених истраживања пошто по узору на постојећа истраживања сценарио О не узима у обзир формирање отпада и користи приближније факторе везивања  $\text{CO}_2$ . Песимистични сценарио П, обрађени сценарио  $A+M_{\text{KT}}$  и сценарио са алтернативном фазом одлагања указују да потенцијал глобалног загревања (*GWP*) може бити позитиван и значајно одступати од резултата досадашњих истраживања.

## **7. Компаративна анализа животног циклуса зида од бетона од конопље и креча и типичне праксе новоградње и енергетске санације постојећих објеката у Србији**

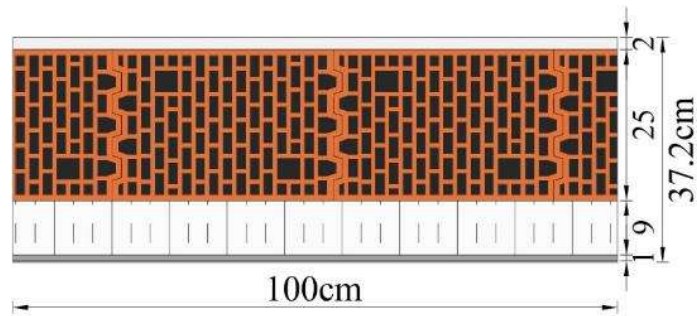
Компаративна анализа подразумева директно поређење еколошких утицаја животног циклуса конструкције од бетона од конопље и креча са типичном праксом зидања у новоградњи као и енергетској санацији постојећих објеката у Србији.

### **7.1 Циљ и обим**

Основни циљ компаративне анализе је валоризовање релативне еколошке исправности примене бетона од конопље и креча у домаћем контексту. Основу компаративне анализе са типичном праксом зидања у новоградњи представља функционална јединица Т (типична пракса) која се пореди са релевантним конструктивним склоповима од *in situ* бетона од конопље и креча (А+...) или блокова од бетона од конопље и креча (Б<sub>и</sub>+...). Применом анализа осетљивости испитују се еколошке импликације варирања дебљине конструкције и различитих режима обнове спољашњих и унутрашњих обрада зида у фази коришћења. Приступ и методологија израде процене животног циклуса су идентични као и за функционалну јединицу А. Границе система обухватају животни циклус функционалне јединице Т и упоредивих сценарија од бетона од конопље и креча од колевке до гроба. Еколошка исправност примене бетона од конопље и креча у санацији постојећих објеката се валоризује поређењем животног циклуса санације постојећих зиданих конструкција применом бетона од конопље и креча са типичном праксом у Србији.

#### **7.1.1 Функционална јединица Т**

Функционална јединица Т се дефинише на основу знања о грађевинској пракси у Србији приказаним у поглављу 3.2. Како би се могла директно поредити са претходно анализираним конструкцијама од бетона од конопље и креча, функционална јединица Т се дефинише према основним параметрима функционалне јединице А. Функционална јединица Т (Слика 7.1) се стога дефинише као 1m<sup>2</sup> зида од опекарских блокова са контактном фасадом (*ETICS*) и животним веком од 100 година. Димензије функционалне јединице Т се дефинишу постизањем коефицијента пролаза топлоте од 0.30W/m<sup>2</sup>K.



Слика 7.1: Основа функционалне јединице Т

Као приказ типичне праксе функционална јединица Т се састоји од термо блокова дебљине 25cm и система контактне фасаде који садржи термоизолацију од експандираног полистирена (*EPS*) и танкослојни акрилни малтер. Са унутрашње стране зид је обрађен гипсаним малтером. Дефинисана је термоизолација од експандираног полистирена пошто се као и бетон од конопље и креча типично користи у изолацији објеката једнопородичног становања. Експандирани полистирен (*EPS*), се фаворизује у Србији пошто се лако обрађује и јефтинији је од камене вуне. Уз то у Србији постоји много више погона за производњу експандираног полистирена (*EPS*) него камене вуне. Топлотна проводљивост термо блока је преузета из *Knauftherm 2 Pro* софтвера (Кнауф 2012), док су топлотне проводљивости за остале материјале преузете из „Правилника о енергетској ефикасности зграда“ (МГСИ 2011)

### 7.1.2 Дефинисање сценарија за компаративну анализу конструкција од бетона од конопље и креча и типичне праксе у новоградњи у Србији

Директно поређење функционалне јединице Т и А није прикладно пошто функционална јединица А представља необрађен зид. Стога се у компаративној анализи само пореде сценарији са спољашњом и унутрашњом обрадом. За компаративну анализу се дефинишу сценарији приказани у Табели 7.1.

Табела 7.1: Сценарији дефинисани за компаративну анализу са функционалном јединицом Т

Сценарио	Опис
	<p><b>Примена гитер блокова (сценарио Гб)</b></p> <p>Гитер блокови (Гб) су и даље у употреби и њихова примена такође може представљати типичну праксу у новоградњи у Србији. Сценарио Гб мења термо блокове у конструкцији за гитер блокове. Пошто гитер блокови имају вишу топлотну проводљивост од термо блокова, сценарио Гб садржи и дебљи слој термоизолације од експандираног полистирена.</p>
 <p>A+M<sub>КТ</sub>, П+M<sub>КТ</sub> и О+M<sub>КТ</sub></p> <p>Би+M<sub>КТ</sub></p>	<p><b>Обрађени зид од бетона од конопље и креча (сценарији А, П, О, Би ... +M<sub>КТ</sub>)</b></p> <p>Како би се примена бетона од конопље и креча адекватно упоредила са типичном грађевинском праксом, дефинишу се примарни сценарији обрађених зидова од бетона од конопље и креча. Уз већ анализиран сценарио А+M<sub>КТ</sub> (<i>in situ</i> зид од бетона од конопље и креча са обрадом од малтера од кречног теста), обрада од кречног теста (M<sub>КТ</sub>) се додаје са спољашње и унутрашње стране зида у песимистичом сценарију (П+M<sub>КТ</sub>), оптимистичном сценарију (О+M<sub>КТ</sub>) и сценарију примене испуне од блокова од конопље и креча (Би+M<sub>КТ</sub>).</p>
	<p><b>Обрађени зид од бетона од конопље и креча са алтернативном фазом одлагања (А, П, О, Би ... +M<sub>КТ</sub>+ФО<sub>23%/75%</sub>)</b></p> <p>Пошто разлагање поздера на крају животног века може имати значајан утицај на потенцијал глобалног загревања (<i>GWP</i>), зидови од бетона од конопље и креча обрађени малтером од кречног теста (+M<sub>КТ</sub>) ће се анализирати и са алтернативном фазом одлагања (+ФО<sub>23%/75%</sub>). Примењује се типичан сценарио разградње поздера користећи степен разградње органског угљеника (DOC<sub>F</sub>) од 23% и ефикасност сакупљања метана (CE) од 75%.</p>



### 7.1.3 Анализа осетљивости за компаративну анализу конструкција од бетона од конопље и креча са типичном грађевинском праксом у новоградњи

Дефинисање анализа осетљивости при компаративној анализи омогућава валоризовање еколошке исправности бетона од конопље и креча у ширем контексту примена. Дефинисане анализе осетљивости су:

- 1) **Режими обнова завршних обрада током фазе коришћења (...+ФК<sub>п</sub> и +ФК<sub>о</sub>):** Испитују се еколошки утицаји песимистичних (...+ФК<sub>п</sub>) и оптимистичних режима (...+ФК<sub>п</sub>) обнова функционалне јединице Т (Т+ФК<sub>п</sub> и Т+ФК<sub>о</sub>) у поређењу са утицајима различитих сценарија који укључују бетон од конопље и креча. Утицај режима обнова завршних обрада у сценарију А+М<sub>КТ</sub> је приказан у поглављу 6.6.
- 2) **Коефицијент пролаза топлоте (...+U=0.18 или ...+U=0.24):** Коефицијент пролаза топлоте од 0.30W/m<sup>2</sup>K је највиша прописана вредност за зидове у „Правилнику о Енергетској ефикасности зграда“ (МГСИ 2011), али није оптимална вредност. Ради уштеде оперативне енергије у пракси би било пожељно постићи ниже коефицијенте пролаза топлоте. Као део напора за постизање климатске неутралности, у регулативи других земаља највиши прописани коефицијент пролаза топлоте за спољашње зидове може бити и 0.18W/m<sup>2</sup>K.<sup>52</sup> Испитују се еколошки утицаји дефинисања конструктивних склопова према нижим коефицијентима пролаза топлоте. Конструктивни склопови дефинисани према коефицијенту пролаза топлоте од 0.24W/m<sup>2</sup>K имају суфикс „...+U=0.24“ (Т+U=0.24 итд.) док склопови дефинисани према коефицијенту пролаза топлоте од 0.18W/m<sup>2</sup>K имају суфикс „...+U=0.18“ (Т+U=0.18 итд.).

---

<sup>52</sup> Велика Британија (HM Government 2023), Норвешка и Шведска (Allard, Nair & Olofsson 2021).

## 7.2 Анализа инвентара у склопу компаративне анализе конструкција од бетона од конопље и креча типичне грађевинске праксе у Србији

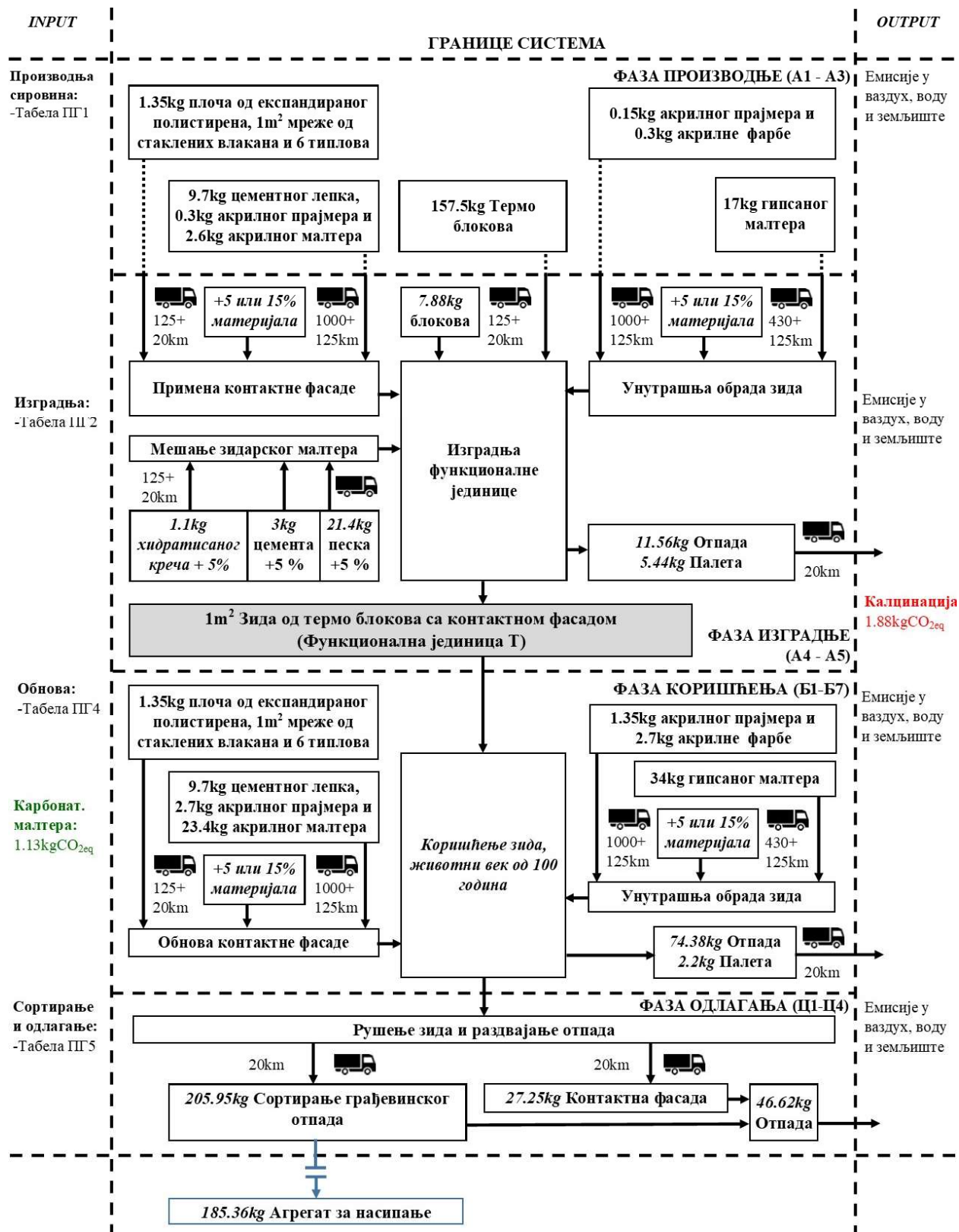
Методологија прикупљања података за анализу инвентара је идентична као и у проценама животног циклуса у поглављу 6.

### 7.2.1 Анализа инвентара: Функционална јединица Т

Анализа инвентара за фазу производње функционалне јединице Т је приказана у Табели ПП1 (Прилог Г) и Слици 7.2. Садржај функционалне јединице Т је приказан у Табели 7.1.

Табела 7.2: Пресек и садржај функционалне јединице Т

Пресек функционалне јединице Т	Слој	Материјал	Маса (kg)
	1. Контактна фасада (ETICS)	Цементни лепак	4.5
		Експандирани полистирен	1.35
		Пластични типлови	0.335
		Цементни лепак	5.2
		Мрежа	0.16
		Прајмер	0.3
		Акрилни малтер	2.6
	2. Опекарски блок	Термо блокови	157.5
	3. Зидарски малтер	Хидратисани креч	1.1
		Портланд цемент (СЕМII)	3
		Песак	21.4
	4. Унутрашња обрада	Акрилна боја	0.3
		Акрилни прајмер	0.15
		Гипсани малтер	17



Слика 7.2: Анализа инвентара животног циклуса функционалне јединице Т

У Србији постоји неколико великих произвођача опекарских производа распоређених широм земље (Шабац, Аранђеловац, Инђија, Нови Бечеј, Лесковац итд.), стога се претпоставља да су блокови произведени у Србији. Еколошки утицаји производње блокова у Србији (Прилог Г Табела ПГ6) су дефинисани на основу процеса производње опеке у Европи из *Ecoinvent* базе (*clay brick production, RER*). Сировине за производњу блокова су дефинисане према инвентару *Ecoinvent* процеса, али еколошки утицаји производње и одржавања инфраструктуре производног погона нису узети у обзир. Потрошња струје је коригована за контекст Србије и природни гас је дефинисан као једини енергент за печење опеке. Производња сировина за зидарски малтер се приписује фази изградње.

Систем контактне фасаде се састоји из више слојева и захтева примену наменских грађевинских производа. Претпоставља се примена експандираног полистирена произведеног у Србији. Еколошки утицаји производње експандираног полистирена (Прилог Г Табела ПГ7) су дефинисани на основу процеса за производњу плоча од експандираног полистирена из *Ecoinvent* базе података уз корекцију еколошког утицаја производње струје у Србији. Плоче од експандираног полистирена се повезују са зидом од термо блокова користећи наменски цементни лепак и фиксирани су користећи шест пластичних типлова. Површина плоче се глетује истим лепком и додаје се мрежа од стаклених влакана за ојачавање. Потом се апликује акрилни прајмер и систем се завршава применом танкослојног акрилног малтера. Сви елементи контактних фасада се производе у Србији, али пошто су састави већине ових производа хемијски комплексни и нису у попуности познати, ради веће исправности података преузети су подаци из еколошких декларација Италијанског произвођача, чији су производи доступни у Србији. Стога се претпоставља да се лепак за лепљење и глетовање плоча од експандираног полистирена (Mareš 2018), акрилни прајмер и акрилни малтер (Mareš 2019) производе у Италији. Раздаљине превоза ових производа ће стога бити значајно дуже него да су произведени у Србији, али се могу очекивати нижи еколошки утицаји асоцирани са потрошњом струје и других енергената. Претпоставља се да се типлови (Прилог Г Табела ПГ8) и мрежа од стаклених влакана (Прилог Г Табела ПГ9) производе у Србији. Са унутрашње стране зид се обрађује применом гипсаног малтера, који се покрива акрилним прајмером и завршава акрилном фарбом. Подаци за производњу гипсаног малтера су преузети из еколошке декларације произвођача са производним погоном у Румунији (Rigips Saint Gobain 2019), док се подаци за акрилни прајмер и фарбу преузимају из еколошке декларације произвођача у Италији (Mareš 2019).

Анализа инвентара за превоз свих грађевинских производа на локацију током фазе изградње је приказана у табели ПГ2 (Прилог Г). Материјали произведени у Србији (термо блокови, типлови, мрежа и експандирани полистирен) се превозе камионом (различита оптерећења) 125km до

локалног грађевинског стоваришта или дистрибутера и потом још 20km (различита оптерећења) до локације. Лепак, прајмер, танкослојни малтер и боја који се набављају од произвођача у Италији (Marei 2018, Marei 2019) се превозе 1000km (>32t, *EURO 5*) до дистрибутера у околини Београда и потом још 125km (различита оптерећења) до локације изградње. Гипсани малтер се превози 430km (>32t, *EURO 5*) од произвођача у Румунији (Rigips 2019) до дистрибутера у Београду и потом још 125km (7.5-16t, *EURO 5*) до локације. Анализа инвентара за изградњу функционалне јединице Т је приказана у Табели ПГ3 (Прилог Г). Упаковани хидратисани креч (Табела ПГ10), цемент (Табела ПГ11) и песак за зидарски малтер се производе у Србији и превозе 125km (различита оптерећења) од произвођача до локалног грађевинског стоваришта и још 20km (16-32t, *EURO 5*) до локације изградње. Приликом примена свих сировина претпоставља се стварање грађевинског отпада. За већину сировина се користи степен отпада од 5%, али се према препорукама холандске националне еколошке базе података (Nationale Milieudatabase 2020) за акрилни прајмер и боју користи вредност од 15%. За мешање малтера и лепка неопходни су уноси струје и воде. Палете се превозе 20km камионом (3.5-7.5t, *EURO 5*) до оближњег стоваришта за поновну употребу, док се грађевински отпад и отпадна амбалажа скупљају и шаљу на депонију (20km, 7.5-16t, *EURO 5*). Као и у функционалној јединици А услед неразвијеног система за управљање отпадом, претпоставља се да је у питању неуређена депонија.

Анализа инвентара за фазу коришћења је приказана у Табели ПГ4 (Прилог Г). Потенцијални животни века материјала у функционалној јединици Т је приказан у Табели. 7.3.

Табела 7.3: Потенцијални животни век грађевинских производа

Материјал	Животни век
Акрилни малтер	9 година (Biolek & Hanák 2019) 10 година (Weber Saint Gobain 2020)
Експандирани полистирен	30-50 (Biolek & Hanák 2019) 40-50 година (IVH 2022) 35-100 година (EUMEPS 2017)
Гипсани малтер	30-50 година (Kellenberger & Althaus 2009, RICS 2017, Rigips 2019)
Боја	10 година (RICS 2017)

На основу свих података из литературе дефинише се режим од једне комплетне замене контактне фасаде након 50 година и додатних 8 обнова акрилног прајмера и танкослојног малтера и 10 прања

фасаде.<sup>53</sup> Свако прање фасаде захтева 0.0525kWh струје и 12l воде. За унутрашњи режим обнова претпостављају се две обнове гипсаног малтера и 9 обнова прајмера и фарбе. Све спољашње и унутрашње обнове подразумевају производњу и превоз сировина са уфакторисаним грађевинским отпадом на локацију објекта, уносе струје и воде за инсталацију материјала и одлагање створеног отпада. Претпоставља се карбонатизација зидарског малтера и да хидратисани креч и портланд цемент укупно везују 1.735kgCO<sub>2eq.</sub>.

На крају животног века од 100 година, функционална јединица се руши. Анализа инвентара за фазу одлагања функционалне јединице Т је приказана у Табели ПГ5 (Прилог Г). Услед контаминације са другим материјалима и додацима у термоизолационим плочама од експандираног полистирена, тренутно не постоје разрађене стратегије за рециклажу експандираног полистирена из система контактних фасада (Schleier et al. 2022). Стога се елементи контактне фасаде превозе 20km (16-32t, *EURO* 6) на санитарну депонију где се одлажу. Остатак функционалне јединице (блокови са малтером) се превози 20km (>32t, *EURO* 5) до центра за сортирање грађевинског отпада. 10% сортираног зида остаје неупотребљиво и шаље се на депонију, док остатак може да се употреби као агрегат или за насипање.

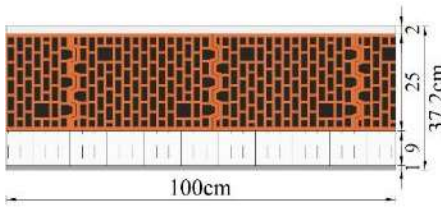
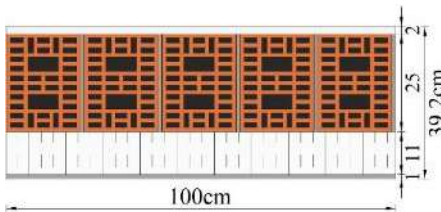
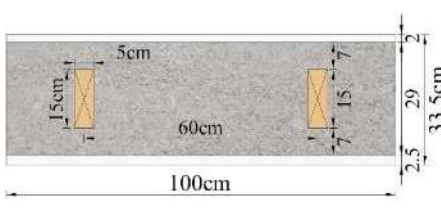
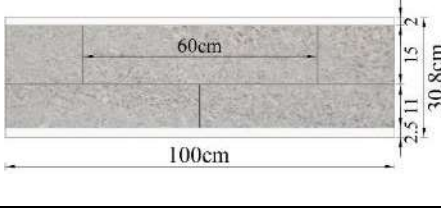
---

<sup>53</sup> 5 година након изградње функционалне јединице и на 5 година од сваке обнове фасадног малтера

## 7.2.2 Анализа инвентара: Конструкције од бетона од конопље и креча дефинисане за компаративну анализу са типичном грађевинском праксом у Србији

Сценарији коришћени у компаративној анализи са функционалном јединицом Т су приказани у Табели 7.4. Сви сценарији представљају  $1\text{m}^2$  зида са животним веком од 100 година.

Табела 7.4: Састав сценарија дефинисаних за компаративну анализу са функционалном јединицом Т

Сценарио	Коефицијент пролаза топлоте ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ )	Садржај	
	Т	0.293	157.5kg термо блок 25.5kg зидарски малтер 1.35kg експандирани полистирен (9.7kg цементни лепак, 0.495kg пластични типлови и мрежица, 3.05kg акрилни малтер, прајмер и фарба, 17kg гипсани малтер)
	Гб	0.299	175kg гитер блок 39.2kg зидарски малтер 1.65kg експандирани полистирен (9.7kg цементни лепак, 0.495kg пластични типлови и мрежица, 3.05kg акрилни малтер, прајмер и фарба, 17kg гипсани малтер)
	А+М <sub>КТ</sub> , П+М <sub>КТ</sub> , О+М <sub>КТ</sub> и (+Ф <sub>О</sub> <sub>23%/75%</sub> )	0.296	30kg поздер 60kg везиво 6.75kg дрво 17.5kg кречно тесто 53.1kg песак
	Би+М <sub>КТ</sub> и (+Ф <sub>О</sub> <sub>23%/75%</sub> )	0.291	30kg поздер 60kg везиво 16.8kg малтер 17.5kg кречно тесто 53.1kg песак

### 7.2.2.1 Анализа инвентара: Сценарио Гб

Сценарио Гб се ослања на анализу инвентара функционалне јединице Т и представља  $1\text{m}^2$  зида од гитер блокова са контактном фасадом који је димензионисан да постигне коефицијент пролаза топлоте од  $0.30\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ . Анализа инвентара за сценарио Гб је приказана у Прилогу X у Табелама ПХ1 до ПХ5. Основна измена је примена гитер блокова уместо термо блокова. Пошто већина

великих произвођача опекарских производа у Србији производи и термо и гитер блокове, претпоставља се да су еколошки утицаји производње 1kg гитер и термо блока исти. Јединица гитер блока (7kg) је значајно лакша од јединице термо блока, али при изради зида дебљине 25cm, неопходно је применити 25 гитер блокова (25x19x19cm). Топлотна проводљивост гитер блока (0.52W/mK) се преузима из „Правилника о енергетској ефикасности зграда“. Топлотна проводљивост структуре од блокова се рачуна користећи Формуле 17 и 18 и услед више топлотне проводљивости гитер блокова потребно је применити већу дебљину експандираног полистирена у односу на функционалну јединицу Т. Изван промене дебљине термоизолације, остатак спољашње и унутрашње обраде зида је идентичан функционалној јединици Т.

У склопу фазе изградње раздаљине превоза су исте, али веће количине блокова и изолације утичу на еколошки утицај превоза материјала на локацију (Прилог X Табела ПХ2) и повећавају количину створеног грађевинског отпада. Израда зида од гитер блокова такође захтева примену веће количине зидарског малтера (Прилог X Табела ПХ3). У фази коришћења само варирају јединични процеси повезани са термоизолацијом од експандираног полистирена и вредност карбонатизације зидарског малтера (Прилог X Табела ПХ4). Стратегија одлагања при сценарију Гб је идентична као и за функционалну јединицу Т (Прилог X Табела ПХ5).

#### **7.2.2.2 Анализа инвентара: Конструкције од бетона од конопље и креча са обрадом од кречног теста (Сценарији А+М<sub>КТ</sub>, П+М<sub>КТ</sub>, О+М<sub>КТ</sub> и Би+М<sub>КТ</sub>)**

Сценарио А+М<sub>КТ</sub> приказан у делу 6.6.1 је дефинисан обрадом основне функционалне јединице А малтером од кречног теста и песка (+М<sub>КТ</sub>) са спољашње и унутрашње стране зида. Сценарији П+М<sub>КТ</sub>, О+М<sub>КТ</sub> и Би+М<sub>КТ</sub> подразумевају додавање 2.5cm малтера од кречног теста и песка са спољашње стране и 2cm малтера од кречног теста и песка са унутрашње стране зида од бетона од конопље и креча у песимистичном сценарију (П), оптимистичном сценарију (О) и сценарију примене испуне од блокова од конопље и креча (Би). Анализе инвентара за основе сценарија П, О и Би остају идентичне. На њих се додају сви јединични процеси повезани са животним циклусом малтера од кречног теста и песка по узору на анализу инвентара сценарија А+М<sub>КТ</sub>. У сценарију Би+М<sub>КТ</sub> сви јединични процеси повезани са малтером од кречног теста су идентични као и у сценарију А+М<sub>КТ</sub>. У сценаријима П+М<sub>КТ</sub> и О+М<sub>КТ</sub> долази до варијације у уносима у фази изградње и фази коришћења пошто раздаљине превоза сировина, степен стварања грађевинског отпада и фактор карбонатизације кречног теста подлежу поставкама дефинисаним у песимистичном (П) и оптимистичном сценарију (О). Стога се у сценарију П+М<sub>КТ</sub> сировине за малтер превозе 180km, рачуна се 10% грађевинског отпада и користи степен карбонатизације кречног теста од 75%. У



сценарију  $O+M_{KT}$  сировине за малтер се превозе 70km, не узима се у обзир формирање грађевинског отпада и користи степен карбонатизације кречног теста од 90%.

### **7.2.2.3 Анализа инвентара: Конструкције од бетона од конопље и креча са обрадом од кречног теста и алтернативном фазом одлагања**

Сценарио  $A+M_{KT}+FO_{23\%/75\%}$  представља варијацију сценарија  $A+M_{KT}$  на основу сценарија алтернативне фазе одлагања из дела 6.3. Претпоставља се да ће се сав поздер у сценарију  $A+M_{KT}$ , разградити на крају животног века. Претпоставља се фактор разградње органског угљеника ( $DOC_F$ ) од 23% и ефикасност система за сакупљање  $CH_4$  ( $CE$ ) од 75%. Сценарији  $P+M_{KT}+FO_{23\%/75\%}$ ,  $O+M_{KT}+FO_{23\%/75\%}$  и  $Bi+M_{KT}+FO_{23\%/75\%}$  се дефинишу по истом принципу. Додатна варијација је присутна само код сценарија  $Bi+M_{KT}+FO_{23\%/75\%}$ , пошто у сценарију  $Bi+M_{KT}$  поздер у отпадним блоковима у фази изградње остаје инертан. У сценарију  $Bi+M_{KT}+FO_{23\%/75\%}$  претпоставља се разградња поздера и у фази изградње кад се отпад од блокова одлаже на депонију. Разградња поздера се рачуна по принципу разградње поздера у фази изградње у функционалној јединици А, те се претпоставља фактор распадања органског угљеника ( $DOC_F$ ) од 23% и ефикасност система за сакупљање  $CH_4$  ( $CE$ ) од 0%. За сценарије  $A+M_{KT}+FO_{23\%/75\%}$ ,  $P+M_{KT}+FO_{23\%/75\%}$ ,  $O+M_{KT}+FO_{23\%/75\%}$  и  $Bi+M_{KT}+FO_{23\%/75\%}$  анализира се само потенцијал глобалног загревања ( $GWP$ ).

### **7.2.3 Анализа инвентара : Анализа осетљивости за режим обнова завршних обрада у фази коришћења (+ФК<sub>п</sub>/+ФК<sub>о</sub>)**

У склопу функционалне јединице Т и сценарија  $A+M_{KT}$  дефинисани су просечни режими обнова завршних обрада. Грађевински материјали имају очекивани животни век, али многи фактори могу утицати на актуелни животни век тог материјала у пракси и тиме на неопходан број обнова спољашње и унутрашње обраде зида. Квалитет примењених материјала и квалитет израде завршне обраде могу утицати на број неопходних обнова. Спољашњи климатски услови и начин коришћења објекта такође могу диктирати број неопходних обнова. Уз то, примењени режим обнова ће у пракси зависити од корисника и њихове перцепције и финансијске могућности. Пошто је режим обнова спољашње и унутрашње обраде зида у фази коришћења један од кључних параметара који утичу на еколошку исправност конструктивних склопова, сагледаће се еколошки утицаји песимистичних (+ФК<sub>п</sub>) и оптимистичних (+ФК<sub>о</sub>) режима обнова у склопу животног века од 100 година. Сценарији који ће се анализирати и њихови режими обнова су приказани у Табели 7.5.

Табела 7.5: Режији обнова завршних обрада зидова током животног века од 100 година

Сценарио	Спољашњи режим обнова			Унутрашњи режим обнова		
	Материјал	Број обнова током 100 година	Животни век (година)	Материјал	Број обнова током 100 година	Животни век (година)
Т	Акрилни малтер и прајмер	9	10	Акрилна фарба и прајмер	9	10
	Експандирани полистирен, цементни лепак, типлови и мрежа	1	50	Гипсани малтер	2	33
Т+ФК <sub>п</sub> (песимистичан)	Акрилни малтер и прајмер	10	9	Акрилна фарба и прајмер	10	9
	Експандирани полистирен, цементни лепак, типлови и мрежа	2	у просеку 33	Гипсани малтер	2	33
Т+ФК <sub>о</sub> (оптимистичан)	Акрилни малтер и прајмер	7	12.5	Акрилна фарба и прајмер	7	12.5
	Експандирани полистирен, цементни лепак, типлови и мрежа	1	50	Гипсани малтер	1	50
А+М <sub>кТ</sub>	Малтер од кречног теста	2	33	Малтер од кречног теста	2	33
А+М <sub>кТ</sub> +ФК <sub>п</sub> (песимистичан)	Малтер од кречног теста	3	25	Малтер од кречног теста	2	33
А+М <sub>кТ</sub> +ФК <sub>о</sub> (оптимистичан)	Малтер од кречног теста	2	33	Малтер од кречног теста	1	50
П+М <sub>кТ</sub> +ФК <sub>п</sub> (песимистичан)	Малтер од кречног теста	3	25	Малтер од кречног теста	2	33
О+М <sub>кТ</sub> +ФК <sub>о</sub> (оптимистичан)	Малтер од кречног теста	2	33	Малтер од кречног теста	1	50

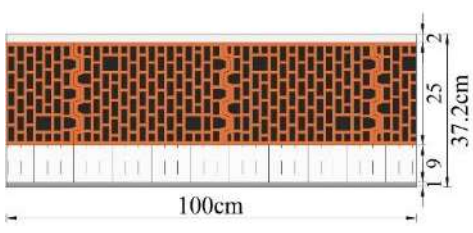
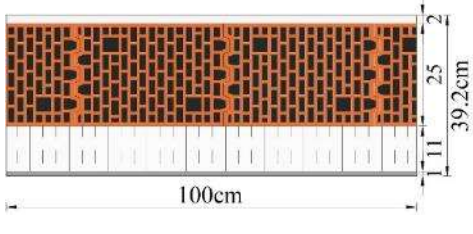
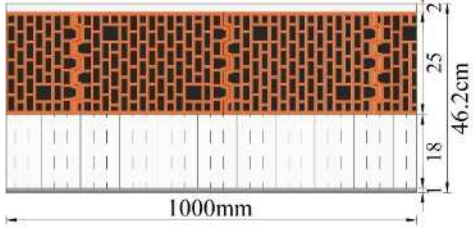
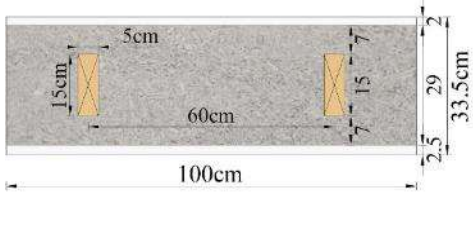
Дефинишу се песимистични и оптимистични Режији обнова за функционалну јединицу Т и сценарио А+М<sub>кТ</sub>. Уз то анализирају се горња и доња граница еколошких утицаја зидова од бетона од конопље и креча апликацијом песимистичног Режија обнове на сценарио П+М<sub>кТ</sub> и оптимистичног Режија обнова на сценарио О+М<sub>кТ</sub>.

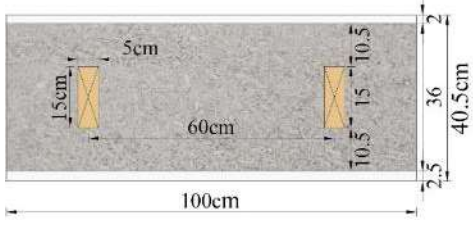
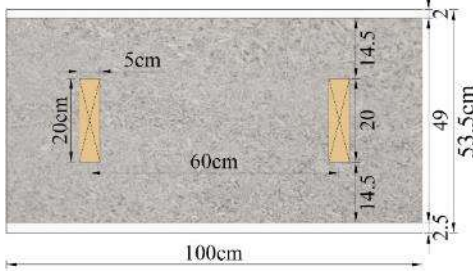
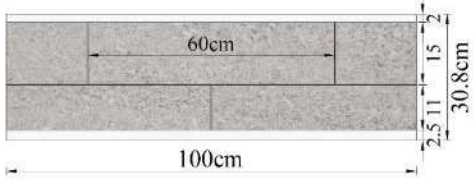
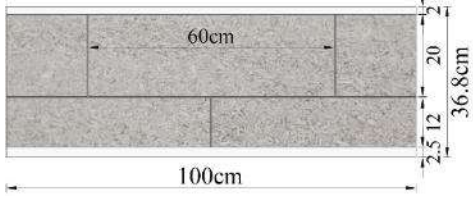
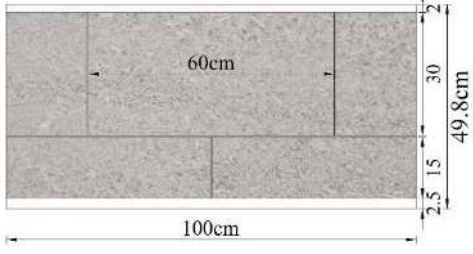
#### 7.2.4 Анализа осетљивости: Варијација коефицијента пролаза топлоте (+U=0.24/+U=0.18)

Смањивање коефицијента пролаза топлоте конструкције се може постићи повећавањем дебљине термоизолационог слоја или применом материјала са нижом топлотном проводљивошћу. Дефинисани су сценарији који испитују еколошки утицај постизања коефицијента пролаза топлоте

од  $0.24\text{W/m}^2\text{K}$  и  $0.18\text{W/m}^2\text{K}$  повећавањем дебљине термоизолационог слоја у функционалној јединици Т и сценаријима А+М<sub>КТ</sub> и Би+М<sub>КТ</sub> (Табела 7.6).

Табела 7.6: Утицај варирања коефицијента пролаза топлоте на функционалну јединицу Т и сценарије А+М<sub>КТ</sub> и Би+М<sub>КТ</sub>

Сценарио	$U$ ( $\text{W/m}^2\text{K}$ )	Термоизолациони слој	
	T	0.293	9cm (1.35kg) експандирани експандирани полистирен у склопу система контактне фасаде
	T+U=0.24	0.241	11cm (1.65kg) експандирани експандирани полистирен у склопу система контактне фасаде
	T+U=0.18	0.178	18cm (2.7kg) експандирани експандирани полистирен у склопу система контактне фасаде
	A+М <sub>КТ</sub>	0.296	29cm бетон од конопље и креча (поздер: 30kg везиво: 60kg дрво: 6.75kg)

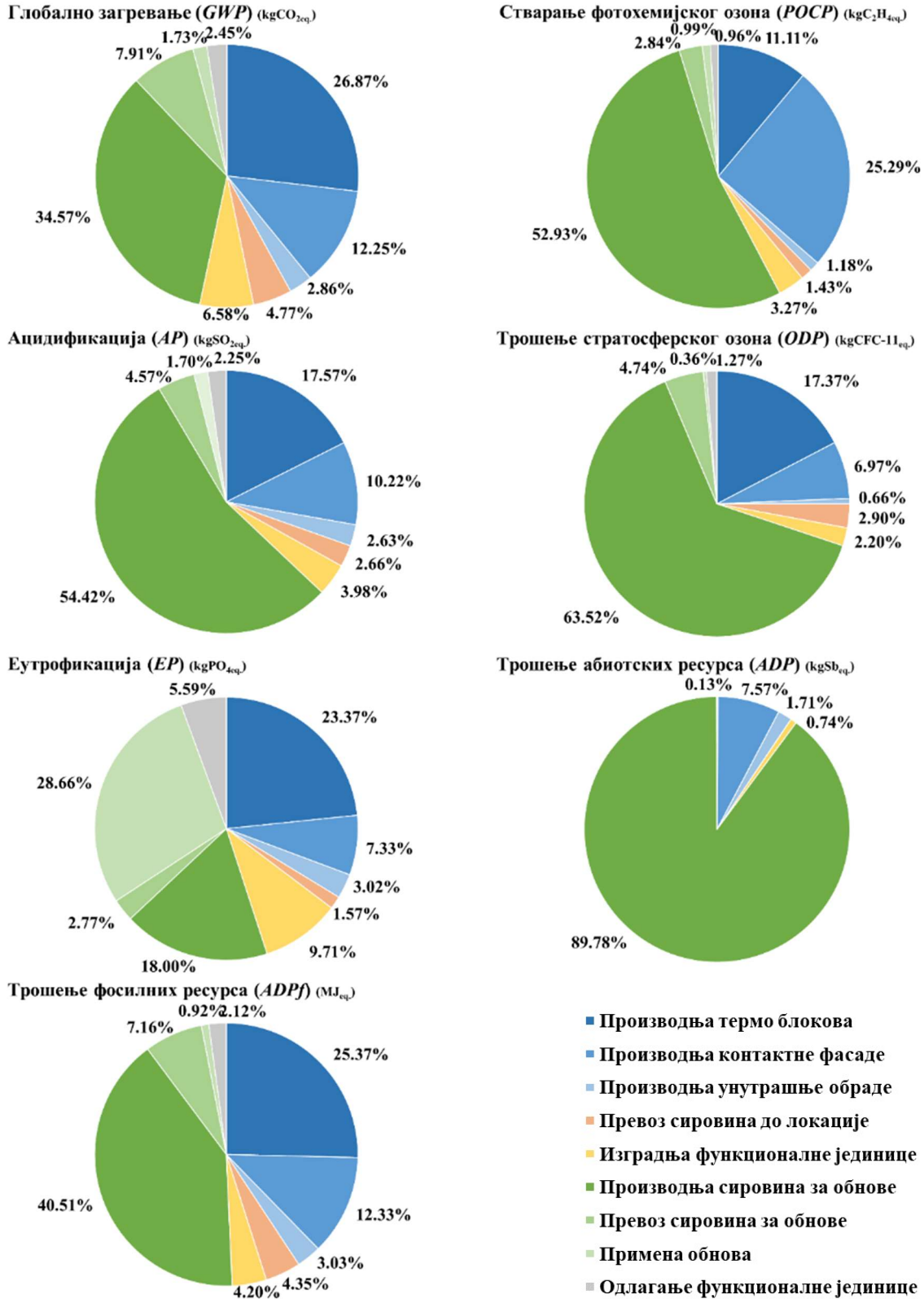
	<p>A+M<sub>КТ</sub>+ U=0.24</p>	<p>0.240</p>	<p>36cm бетон од конопље и креча (поздер: 38kg везиво: 76kg дрво: 6.75kg)</p>
	<p>A+M<sub>КТ</sub>+ U=0.18</p>	<p>0.179</p>	<p>49cm бетон од конопље и креча (поздер: 51.7kg везиво: 103.4kg дрво: 9kg)</p>
	<p>Би+M<sub>КТ</sub></p>	<p>0.291</p>	<p>15cm + 11cm блокова од бетона од конопље и креча (поздер: 28.1kg везиво: 53.3kg малтер: 16.8kg)</p>
	<p>Би+M<sub>КТ</sub>+ U=0.24</p>	<p>0.239</p>	<p>20cm + 12cm блокова од бетона од конопље и креча (поздер: 34.6kg везиво: 65.7kg малтер: 19kg)</p>
	<p>Би+M<sub>КТ</sub>+ U=0.18</p>	<p>0.173</p>	<p>30cm + 15cm блокова од бетона од конопље и креча (поздер: 44.8kg везиво: 92.4kg малтер: 24kg)</p>

### 7.3 Процена животног циклуса: Функционална јединица Т

Еколошки утицаји животног века функционалне јединице Т су приказани у Табели 7.7. Слика 7.3 указује на релативни удео главних процеса и фаза у животном веку функционалне јединице Т. Услед значајног удела фазе коришћења, приказ фазе коришћења је раздвојен у три целине: производњу сировина за обнове, превоз сировина за обнове и имплементацију обнова. Производња сировина укључује и производњу додатних сировина да се надомести стварање грађевинског отпада.

Табела 7.7. Еколошки утицаји животног циклуса функционалне јединице Т

Процес		<i>GWP</i> kgCO <sub>2</sub> eq.	<i>AP</i> kgSO <sub>2</sub> eq.	<i>EP</i> PO <sub>4</sub> eq.	<i>POCP</i> kgC <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq.	<i>ODP</i> kgCFC-11eq.	<i>ADP</i> kgSbeq.	<i>ADPf</i> MJeq.
A1- A3	Производња термо блокова	29.551	0.113	0.057	5.50E-03	5.91E-06	1.19E-04	457.383
	Производња система контактне фасаде	13.469	0.066	0.018	1.25E-02	2.37E-06	6.90E-03	222.392
	Производња унутрашње обраде зида	3.151	0.017	0.007	5.86E-04	2.25E-07	1.56E-03	54.540
A4	Превоз сировина на локацију	5.249	0.017	0.004	7.11E-04	9.87E-07	1.65E-05	78.516
A5	Изградња функционалне јединице	7.235	0.026	0.024	1.62E-03	7.50E-07	6.72E-04	75.787
B1- B7	Производња сировина за обнову спољашње и унутрашње обраде (урачунат отпад)	38.019	0.350	0.044	2.62E-02	2.16E-05	8.18E-02	730.390
	Превоз сировина за обнову	8.700	0.029	0.007	1.41E-03	1.61E-06	3.99E-05	129.131
	Обнова спољашње и унутрашње обраде	1.900	0.011	0.070	4.90E-04	1.23E-07	4.19E-06	16.563
	Карбонатизација зидарског малтера	-1.127						
C1- C4	Одлагање функционалне јединице	2.698	0.014	0.014	4.75E-04	4.34E-07	7.24E-06	38.248
<b>УКУПНО</b>		<b>108.845</b>	<b>0.644</b>	<b>0.245</b>	<b>4.95E-02</b>	<b>3.40E-05</b>	<b>9.11E-02</b>	<b>1802.95</b>



Слика 7.3: Релативни еколошки утицаји процеса у животном веку функционалне јединице Т

У контексту животног века функционалне јединице Т, фаза коришћења има кумулативно највећи еколошки утицај на потенцијал глобалног загревања ( $GWP=44.21\%$ ) и све остале еколошке показатеље пошто пошто укључује производњу, превоз и примена материјала за све обнове спољашњих и унутрашњих обрада<sup>54</sup>. Фаза производње има приближан утицај на потенцијал глобалног загревања ( $GWP=41.98\%$ ), превасходно због потрошње природног гаса и електричне енергије у производњи термо блокова. У контексту целог животног века, производња термо блокова је индивидуално најштетнији процес у свим показатељима осим потенцијала стварања фотохемијског озона ( $POCP$ ). Производња контактне фасаде има највећи утицај на потенцијал стварања фотохемијског озона ( $POCP$ ) услед производње термоизолационих плоча од експандираног полистирена. У склопу производње контактне фасаде производња експандираног полистирена има најизраженији индивидуални утицај на све еколошке показатеље осим потенцијала трошења абиотских ресурса ( $ADP$ ), на шта највише утиче производња танкослојног акрилног малтера. Производња унутрашње обраде зида има релативно миноран еколошки удео у животном циклусу функционалне јединице Т. Као део фазе производње контактна фасада и унутрашња обрада зида имају релативни еколошки удео од  $7.57\%$  ( $ADP$ ) до  $26.47\%$  ( $POCP$ ). Међутим уколико се узме у обзир и обнова обрада у фази коришћења уочава се да производња материјала за обраду зида има еколошки удео од  $28.35\%$  ( $EP$ ) до  $99.06\%$  ( $ADP$ ) и да преко целог животног века обраде зида имају већи еколошки утицај од саме зидане конструкције.

Увоз дела материјала за обраду зида повећава релативни еколошки удео превоза сировина до локације, али је и упркос томе еколошки утицај превоза материјала релативно низак и највише утиче на потенцијал глобалног загревања ( $GWP=4.77\%$ ). Удео превоза материјала до локације у фази коришћења има већи релативни удео пошто подразумева увоз веће количине материјала него у фази изградње, те увоз материјала има већи еколошки утицај кад се посматра преко целокупног животног века. Збрајањем превоза материјала у фази изградње и фази коришћења уочава се да превоз има најизраженији утицај на потенцијал глобалног загревања ( $GWP=12.68\%$ ) и трошења фосилних ресурса ( $ADPf=11.51\%$ ). Стога постоје значајне предности у смањивању раздаљине превоза, али превоз и даље има значајно нижи релативни еколошки утицај од производње материјала у фазама производње и коришћења. Фаза изградње има највећи релативни утицај на потенцијал глобалног загревања ( $GWP$ ) и еутрофикације ( $EP$ ), превасходно услед производње зидарског малтера. Процес замена обрада у фази коришћења има низак релативни еколошки утицај у свим показатељима, осим потенцијала еутрофикације ( $EP$ ), услед депоновања грађевинског отпада приликом обнова на

---

<sup>54</sup> Збир производње сировина за обнове ( $34.57\%$ ), превоз сировина за обнове ( $7.91\%$ ) и примена обнова ( $1.73\%$ )

потенцијално несанитарне депоније. Фаза одлагања има значајно нижи релативни утицај на потенцијал еутрофикације (*EP*), пошто се највећи део отпада припрема за рециклажу док се остатак депонује на санитарну депонију. Фаза одлагања такође има генерално низак релативни утицај код свих еколошких показатеља. Утицај фазе одлагања би био израженији када би се термоизолација од експандираног полистирена сагоревала на крају животног века.

Евидентно је да иако производња и инсталација термо блокова има изражен утицај на животни циклус функционалне јединице Т, производња материјала за спољашње и унутрашње обраде зида заправо има највећи еколошки утицај. Могуће је смањити еколошки утицај фазе коришћења мањим бројем спољашњих обрада, што у пракси може зависити од спољашњих услова или примене производа алтернативних произвођача. Ипак највећи утицај има замена целокупне контактне фасаде, коју је неопходно урадити бар једанпут током животног века од 100 година. Примена завршних малтера који су произведени у Србији би могла смањити релативни утицај фазе изградње услед мањих раздаљина превоза сировина, али нужно не смањује свеукупне резултате еколошких показатеља функционалне јединице Т уколико би процеси домаће производње материјала били штетнији. Пошто су еколошки утицаји производње струје у Србији генерално неповољнији у односу на Италију и друге земље западе Европе, уколико би еколошки утицаји примењених сировина и технологија производње неповољнији, предности локалне производње и краћих раздаљина превоза би се могле неутралисати. Стога је значајно развити базу података за еколошке утицаје производње грађевинских производа у Србији и подстицати индивидуалне произвођаче да израде еколошке декларације за своје грађевинске производе.

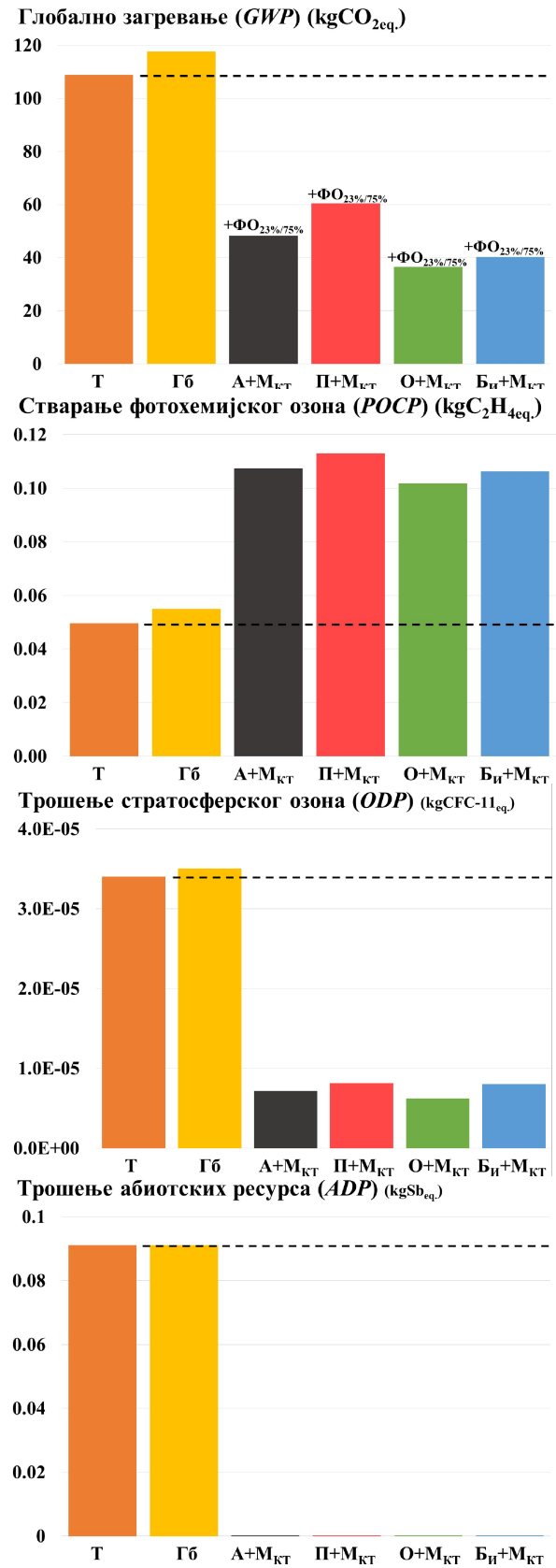
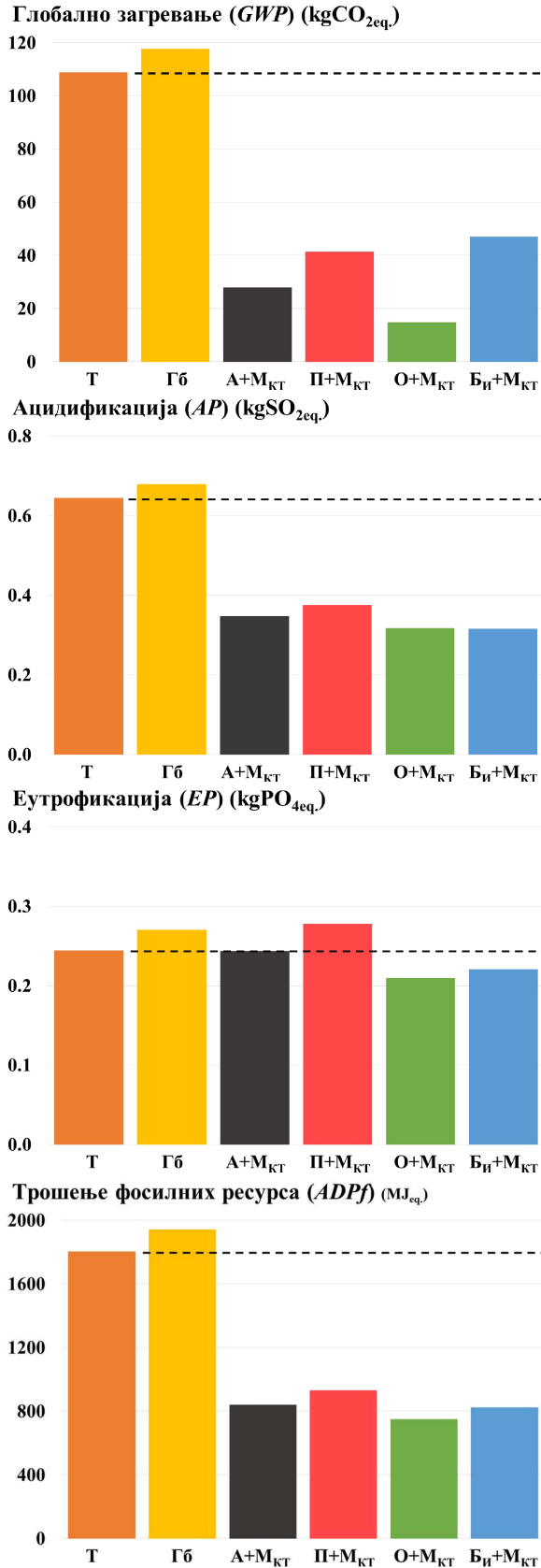


#### 7.4 Процена животног циклуса: компаративна анализа типичне праксе у новоградњи и зидова од бетона од конопље и креча

Резултати компаративне анализе типичне грађевинске праксе у новоградњи и зидова од бетона од конопље и креча су приказани у Табели 7.8 и Слици 7.4.

Табела 7.8: Еколошки утицаји сценарија Гб, А+М<sub>КТ</sub>, П+М<sub>КТ</sub>, О+М<sub>КТ</sub> и Би+М<sub>КТ</sub> у односу на функционалну јединицу Т

Сценарио	<i>GWP</i> kgCO <sub>2</sub> eq.	<i>AP</i> kgSO <sub>2</sub> eq.	<i>EP</i> PO <sub>4</sub> eq.	<i>POCP</i> kgC <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq.	<i>ODP</i> kgCFC-11eq.	<i>ADPe</i> kgSbeq.	<i>ADPf</i> MJeq.
<b>Т</b>	108.845	0.644	0.245	4.95E-02	3.40E-05	9.11E-02	1802.950
<b>Гб</b>	117.589	0.680	0.270	5.50E-02	3.50E-05	9.11E-02	1941.256
% у односу на Т	<b>+8.03%</b>	<b>+5.61%</b>	<b>+10.34%</b>	<b>+11.00%</b>	<b>+2.89%</b>	<b>+0.02%</b>	<b>+7.67%</b>
<b>А+М<sub>КТ</sub></b>	28.026	0.347	0.243	1.07E-01	7.19E-06	1.52E-04	841.541
% у односу на Т	<b>-74.25%</b>	<b>-46.06%</b>	<b>-0.56%</b>	<b>+116.67%</b>	<b>-78.88%</b>	<b>-99.83%</b>	<b>-53.32%</b>
<b>П+М<sub>КТ</sub></b>	41.483	0.375	0.278	1.13E-01	8.14E-06	1.77E-04	931.038
% у односу на Т	<b>-61.89%</b>	<b>-41.72%</b>	<b>+13.48%</b>	<b>+127.92%</b>	<b>-76.09%</b>	<b>-99.81%</b>	<b>-48.36%</b>
<b>О+М<sub>КТ</sub></b>	14.805	0.317	0.210	1.02E-01	6.21E-06	1.30E-04	750.797
% у односу на Т	<b>-86.40%</b>	<b>-50.78%</b>	<b>-14.33%</b>	<b>+105.45%</b>	<b>-81.75%</b>	<b>-99.86%</b>	<b>-58.36%</b>
<b>Би+М<sub>КТ</sub></b>	26.419	0.316	0.198	1.06E-01	8.03E-06	1.62E-04	824.071
% у односу на Т	<b>-75.73%</b>	<b>-50.95%</b>	<b>-18.87%</b>	<b>+114.36%</b>	<b>-76.40%</b>	<b>-99.82%</b>	<b>-54.29%</b>



Слика 7.4: Еколошки утицаји типичне праксе у новоградњи и конструкција од бетона од конопље и креча

Релативни односи процеса у склопу животног циклуса сценарија Гб су приказани у Табели ПА6 и Слици ПА5. Релативни односи процеса су веома слични релативним односима у животном циклусу функционалне јединице Т. Поређењем резултата функционалне јединице Т и сценарија Гб, уочава се да примена термо блокова може бити еколошки исправнија опција у односу на примену гитер блокова зато што су сви еколошки показатељи у сценарију Гб неповољнији. Посматрањем релативних односа уочава се да примена гитер блокова има највећи утицај на потенцијал еутрофикације (*EP*) и стварања фотохемијског озона (*POCP*). Уз то доводи и до значајнијег пораста емисија гасова стаклене баште. Наиме током животног циклуса сценарија Гб испусти се 8.744kgCO<sub>2eq</sub>. више. Производња гитер блокова у фази производње има највећи индивидуални утицај на погоршање потенцијала глобалног загревања (*GWP*), пошто је заслужна за 37.55% додатних емисија гасова стаклене баште. Када се зброје производња експандираног полистирена у фази производње и замена експандираног полистирена у фази коришћења, утврђује се да је примена додатног експандираног полистирена заслужна за 33.42% додатних емисија гасова стаклене баште. Када се узме у обзир карбонатизација хидратисаног креча, производња додатних сировина за зидарски малтер доприноси 14.51% додатних емисија гасова стаклене баште. Кључне предности термо блокова су нижа топлотна проводљивост која омогућава примену тањег слоја термоизолације и начин изградње зида који омогућава примену мање опекарских елемената и малтера.

Уочава се да сценарији зидова од бетона од конопље и креча конзистентно имају ниже резултате од функционалне јединице Т и сценарија Гб у свим еколошким показатељима осим потенцијала еутрофикације (*EP*) и стварања фотохемијског озона (*POCP*). Кључни разлог за значајно већи потенцијал стварања фотохемијског озона (*POCP*) код зидова од бетона од конопље и креча је примена креча који је произведен сагоревањем дрвета у неефикасној традиционалној кречној пећи. Ово је јасно пошто сценарио А+М<sub>ПХК</sub> који користи малтер од природног хидрауличног креча има потенцијал стварања фотохемијског озона (*POCP*) који је за 71.70% нижи од резултата функционалне јединице Т. Стога се може рећи да зид од бетона од конопље и креча сам по себи има значајно нижи потенцијал стварања фотохемијског озона (*POCP*) и да треба обратити пажњу на материјал који се користи за обраду. Резултати потенцијала еутрофикације (*EP*) су најприближнији, пошто је резултат сценарија А+М<sub>КТ</sub> само 0.56% нижи од резултата функционалне јединице Т, а резултат песимистичног сценарија П+М<sub>КТ</sub> 13.48% виши. У сценарију А+М<sub>КТ</sub> производња малтера од кречног теста и фаза коришћења су заслужни за 45.09% емисија које доприносе потенцијалу еутрофикације (*EP*) и за 90.32% емисија које доприносе потенцијалу стварања фотохемијског озона (*POCP*), што указује да неvezано од обраде, зид од бетона од конопље и креча има релативно висок утицај на еутрофикацију. У песимистичном сценарију производња и депоновање додатног

дрвенастог отпада у фази коришћења има највећи додатни допринос потенцијалу еутрофикације (*EP*), те боље управљање отпадом може имати значајан утицај на релативно побољшавање зидова од бетона од конопље и креча у односу на постојећу праксу.

Код осталих еколошких показатеља (*GWP*, *AP*, *ODP* и *ADP<sub>f</sub>*) најприближнији су резултати сценарија П+М<sub>КТ</sub> и функционалне јединице Т. Међутим разлика у резултатима је значајна, што указује да чак и песимистичан сценарио зида од бетона од конопље и креча има свеобухватно повољнији еколошки утицај од типичне грађевинске праксе у новоградњи. Највећа релативна разлика између резултата функционалне јединице Т и зидова од бетона од конопље и креча, је присутна код потенцијала трошења абиотских ресурса (*ADP*). Само производња блокова и сировина за зидарски малтер у функционалној јединици Т има приближан утицај на потенцијал трошења абиотских ресурса (*ADP*) као цео животни век сценарија А+М<sub>КТ</sub>, стога се може аргументовати да зидови од бетона од конопље и креча имају релативно низак утицај на трошење абиотских ресурса. У функционалној јединици Т акрилни малтер и прајмер и акрилна боја највише утичу на потенцијал трошења абиотских ресурса (*ADP*), што уз режим обнова у фази коришћења доприноси великој разлици у односу на сценарије који укључују бетон од конопље и креча. Пошто фаза коришћења значајно доприноси еколошким утицајима животног века функционалне јединице Т, Табела 7.9 пореди резултате фазе производње (А1-А3) функционалне јединице Т и сценарија А+М<sub>КТ</sub>.

Табела 7.9: Поређење фазе производње (А1-А3) функционалне јединице Т и сценарија А+М<sub>КТ</sub>

Сценарио	<i>GWP</i> kgCO <sub>2</sub> eq.	<i>AP</i> kgSO <sub>2</sub> eq.	<i>EP</i> PO <sub>4</sub> eq.	<i>POCP</i> kgC <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq.	<i>ODP</i> kgCFC-11eq.	<i>ADP<sub>e</sub></i> kgSbeq.	<i>ADP<sub>f</sub></i> MJeq.
<b>Т (А1-А3)</b>	46.170	0.196	0.082	1.86E-02	8.51E-06	8.58E-03	734.315
<b>А+М<sub>КТ</sub> (А1-А3) без везивања CO<sub>2</sub></b>	68.947	0.194	0.105	3.78E-02	4.43E-06	6.21E-05	466.579
% у односу на Т	<b>+49.33%</b>	<b>-1.05%</b>	<b>+27.89%</b>	<b>+102.94%</b>	<b>-47.90%</b>	<b>-99.28%</b>	<b>-36.46%</b>
<b>А+М<sub>КТ</sub> (А1-А3) само укључено везивање поздера</b>	25.509						<b>Исто</b>
% у односу на Т	<b>-44.75%</b>						<b>Исто</b>
<b>А+М<sub>КТ</sub> (А1-А3) само укључена карбонатизација малтера и везива</b>	41.730						
% у односу на Т	<b>-9.62%</b>						<b>Исто</b>

Очекивано, услед производње кречног малтера, сценарио А+М<sub>КТ</sub> већ у фази производње има значајно виши потенцијал стварања фотохемијског озона (*POCP*). Интересантно је да сценарио А+М<sub>КТ</sub> такође има виши потенцијал еутрофикације (*EP*) у фази производње, што потврђује да сценарији зидова од бетона од конопље и креча имају релативно висок утицај на потенцијал еутрофикације (*EP*) и да преко животног века функционалне јединице Т има већи утицај на еутрофикацију услед режима обнова у фази коришћења. Сценарио А+М<sub>КТ</sub> и функционална јединица Т такође имају приближан потенцијал ацидификације (*AP*) у фази производње, али на крају животног века функционална јединица Т има скоро дупло већи потенцијал ацидификације (*AP*) услед разлика у фази коришћења. Разлике у потенцијалу трошења стратосферског озона (*ODP*), абиотских ресурса (*ADP*) и фосилних ресурса (*ADP<sub>f</sub>*) су значајне и у фази коришћења, што указује да зидови од бетона од конопље и креча имају релативно низак утицај на те еколошке показатеље. Сагледавајући потенцијал глобалног загревања (*GWP*) уочава се да услед производње везива, сценарио А+М<sub>КТ</sub> заправо емитује више гасова стаклене баште од функционалне јединице Т у фази производње. Само производња везива емитује 3.708kgCO<sub>2eq.</sub> више од целе фазе производње функционалне јединице Т, те је иницијална производња везива штетнија од било ког елемента животног циклуса функционалне јединице Т. Међутим када се узме у обзир CO<sub>2</sub> везан карбонатизацијом у фази коришћења, производња сировина за сценарио А+М<sub>КТ</sub> емитује око 9.62% гасова стаклене баште мање од производње сировина за функционалну јединицу Т. Када се узме у обзир CO<sub>2</sub> везан фотосинтезом поздера, фаза производње сценарија А+М<sub>КТ</sub> емитује скоро дупло мање гасова стаклене баште. Евидентно је да је способност зида од бетона од конопље и креча да веже гасове стаклене баште кључна за свеобухватну еколошку исправност материјала.

Током животног века сви сценарији израђени бетоном од конопље и креча имају значајно нижи потенцијал глобалног загревања (*GWP*) од функционалне јединице Т. Сценарио П+М<sub>КТ</sub> испусти 67.362kgCO<sub>2eq.</sub> мање, док сценарио О+М<sub>КТ</sub> испусти чак 94.04kgCO<sub>2eq.</sub> мање од функционалне јединице Т. Ове разлике по квадратном метру зида би неминовно резултирале у разлици од више хиљада тона CO<sub>2eq.</sub> на нивоу објекта. Кључни разлози за ову разлику у потенцијалу глобалног загревања (*GWP*) су способност бетона од конопље и креча да везује CO<sub>2</sub> и веће емисије гасова стаклене баште приликом производње и обнове спољашње обраде зида у функционалној јединици Т. Производња контактне фасаде емитује скоро дупло више гасова стаклене баште од производње спољашње обраде малтера од кречног теста, а фаза коришћења функционалне јединице Т испусти скоро дупло више гасова стаклене баште од фазе коришћења сценарија А+М<sub>КТ</sub> не узимајући у обзир карбонатизацију малтера и везива. Међутим неопходно је узети у обзир и могућност разградње поздера на крају животног века зида од бетона од конопље и креча. Табела 7.10 пореди потенцијал

глобалног загревања (*GWP*) функционалне јединице Т са сценаријима зидова од бетона од конопље и креча који претпостављају разградњу поздера на крају животног века.

Табела 7.10: Утицај разградње поздера (+ $\Phi_{O_{23\%/75\%}}$ ) на потенцијал глобалног загревања сценарија А+ $M_{KT}$ , П+ $M_{KT}$ , О+ $M_{KT}$  и Би+  $M_{KT}$

	<i>T</i>	<i>Gb</i>	Сценарио + $\Phi_{O_{23\%/75\%}}$			
			<i>A+M<sub>KT</sub></i>	<i>P+M<sub>KT</sub></i>	<i>O+M<sub>KT</sub></i>	<i>Bi+ M<sub>KT</sub></i>
<b><i>GWP</i></b> kgCO <sub>2eq.</sub>	108.845	117.589	48.333	60.399	36.499	47.004
% у односу на Т	/	<b>+8.03%</b>	<b>-55.59%</b>	<b>-44.51%</b>	<b>-66.47%</b>	<b>-56.82%</b>

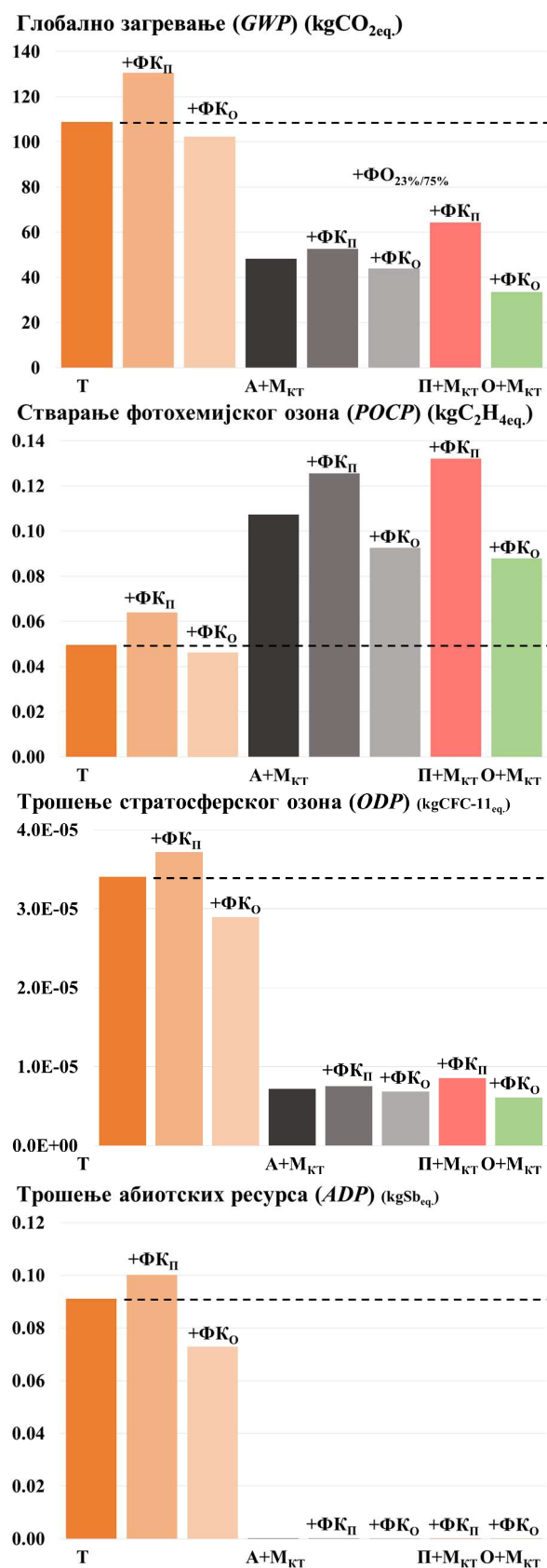
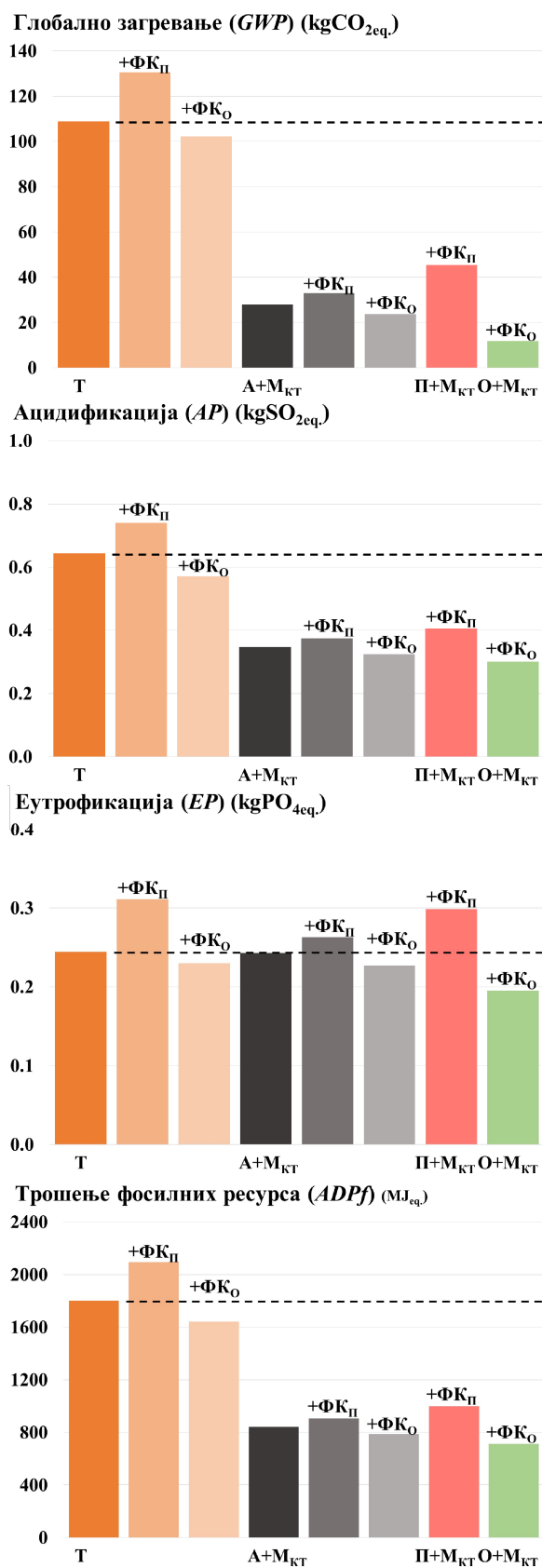
Претпоставља се сценарио распадања поздера који подразумева примену фактора распадања органског угљеника ( $DOC_F$ ) од 23% и степен сакупљања  $CH_4$  ( $CE$ ) од 75%. Уочава се да, иако долази до приближавања резултата, сценарио П+ $M_{KT}$  и даље испусти чак 48.466kgCO<sub>2eq.</sub> мање од функционалне јединице Т. Са нижом ефикасношћу система за скупљање  $CH_4$  ( $CE = 50\%$ ), сценарио П+ $M_{KT}$  испушта 38.832kgCO<sub>2eq.</sub> мање. Евидентно је да количина  $CO_2$  која остане везана у зиду на крају животног века утиче на еколошку исправност бетона од конопље и креча, али да и при нешто конзервативнијим сценаријима фазе одлагања зидови од бетона од конопље и креча испусте значајно мање гасова стаклене баште од типичне грађевинске праксе у Србији. Може се већ само на основу потенцијала глобалног загревања аргументовати да би примена бетона од конопље и креча у Србији била еколошки исправнија метода грађења од тренутне праксе. Велике разлике у другим еколошким показатељима дају даљу потпору овом аргументу. Међутим, услед проблема квалитета ваздуха у Србији, не треба занемарити потенцијал стварања фотохемијског озона (РОСР) и треба наћи модус да се кречно тесто произведе на еколошки исправнији начин или применити алтернативне паропропусне обраде зида попут малтера од природног хидрауличног креча.

### 7.5 Процена животног циклуса: Анализа осетљивости - Режим обнова завршних обрада у фази коришћења (+ФК<sub>п</sub>/+ФК<sub>о</sub>)

Резултати анализе варијација режима обнова у фази коришћења за типичну грађевинску праксу у новоградњи и зидове од бетона од конопље и креча су приказани у Табели 7.11 и Слици 7.6.

Табела 7.11: Еколошки утицаји различитих режима обнова завршних обрада зидова

Сценарио	<i>GWP</i> kgCO <sub>2</sub> eq.	<i>AP</i> kgSO <sub>2</sub> eq.	<i>EP</i> PO <sub>4</sub> eq.	<i>POCP</i> kgC <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq.	<i>ODP</i> kgCFC-11eq.	<i>ADPe</i> kgSb <sub>eq.</sub>	<i>ADPf</i> MJ <sub>eq.</sub>
<b>T</b>	108.845	0.644	0.245	4.95E-02	3.40E-05	9.11E-02	1802.950
<b>T+ФК<sub>п</sub></b>	130.595	0.740	0.311	6.39E-02	3.72E-05	1.00E-01	2094.235
% у односу на T	<b>+19.98%</b>	<b>+14.99%</b>	<b>+27.20%</b>	<b>+29.05%</b>	<b>+9.32%</b>	<b>+9.92%</b>	<b>+16.16%</b>
<b>T+ФК<sub>о</sub></b>	102.309	0.571	0.230	4.62E-02	2.89E-05	7.29E-02	1640.540
% у односу на T	<b>-6.00%</b>	<b>-11.38%</b>	<b>-5.93%</b>	<b>-6.74%</b>	<b>-15.04%</b>	<b>-19.98%</b>	<b>-9.01%</b>
<b>A+M<sub>кт</sub></b>	28.026	0.347	0.243	1.07E-01	7.19E-06	1.52E-04	841.541
% у односу на T	<b>-74.25%</b>	<b>-46.06%</b>	<b>-0.56%</b>	<b>+116.67%</b>	<b>-78.88%</b>	<b>-99.83%</b>	<b>-53.32%</b>
<b>A+M<sub>кт</sub>+ФК<sub>п</sub></b>	32.323	0.375	0.263	1.26E-01	7.51E-06	1.67E-04	903.923
% у односу на T	<b>-70.30%</b>	<b>-41.75%</b>	<b>+7.61%</b>	<b>+153.51%</b>	<b>-77.94%</b>	<b>-99.82%</b>	<b>-49.86%</b>
<b>A+M<sub>кт</sub>+ФК<sub>о</sub></b>	23.630	0.324	0.227	9.26E-02	6.88E-06	1.38E-04	786.904
% у односу на T	<b>-78.29%</b>	<b>-49.68%</b>	<b>-7.29%</b>	<b>+86.96%</b>	<b>-79.80%</b>	<b>-99.85%</b>	<b>-56.35%</b>
<b>П+M<sub>кт</sub>+ФК<sub>п</sub></b>	45.460	0.405	0.299	1.32E-01	8.53E-06	1.94E-04	1000.750
% у односу на T	<b>-58.23%</b>	<b>-37.06%</b>	<b>+22.11%</b>	<b>+166.58%</b>	<b>-74.94%</b>	<b>-99.79%</b>	<b>-44.49%</b>
<b>О+M<sub>кт</sub>+ФК<sub>о</sub></b>	11.832	0.300	0.195	8.79E-02	6.08E-06	1.19E-04	712.240
% у односу на T	<b>-89.13%</b>	<b>-53.34%</b>	<b>-20.15%</b>	<b>+77.45%</b>	<b>-82.13%</b>	<b>-99.87%</b>	<b>-60.50%</b>



Слика 7.5: Еколошки утицај варирања режима обнова завршних обрада



Уочава се да имплементација песимистичног сценарија обнове функционалне јединице Т (Т+ФК<sub>П</sub>) има свеобухватно већи еколошки утицај од имплементације оптимистичног сценарија обнове (Т+ФК<sub>О</sub>)<sup>55</sup>. Основни разлог за то је додатна замена комплетне контактне фасаде у сценарију Т+ФК<sub>П</sub>. Услед додатне обнове термоизолације од експандираног полистирена имплементација сценарија Т+ФК<sub>П</sub> највише утиче на потенцијал стварања фотохемијског озона (*POCP*). Међутим и поред тог повећања сценарио А+М<sub>КТ</sub> би и даље имао 67.90% већи потенцијал стварања фотохемијског озона (*POCP*). Најистакнутија квантитативна промена резултата је присутна код потенцијала глобалног загревања (*GWP*) пошто сценарио Т+ФК<sub>П</sub> испусти чак 21.175kgCO<sub>2eq.</sub> више од функционалне јединице Т. Стога конзервативни сценарио обнове функционалне јединице Т испусти преко 100kgCO<sub>2eq.</sub> више од сценарија А+М<sub>КТ</sub>. Имплементација оптимистичног сценарија обнове (Т+ФК<sub>О</sub>) има нижи релативни утицај у односу на функционалну јединицу Т пошто подразумева примену два премаза прајмера, малтера и боје мање. Сценарио Т+ФК<sub>О</sub> највише умањује потенцијал трошења абиотских ресурса (*ADP*), пошто примењује 22% мање акрилних материјала. Потенцијал глобалног загревања (*GWP*) се смањује за 6.536kgCO<sub>2eq.</sub>, али разлика у односу на сценарије који укључују бетон од конопље и креча остаје значајна. Важно је сагледати потенцијал глобалног загревања (*GWP*) и са алтернативном фазом одлагања, те Табела 7.12 узима у обзир распадање поздера на крају животног века (+ФО<sub>23%/75%</sub>).

Табела 7.12: Утицај разградње поздера (+ФО<sub>23%/75%</sub>) на потенцијал глобалног загревања (*GWP*) сценарија у контексту варирања режима завршних обрада

	<i>T</i>	Сценарио +ФО <sub>23%/75%</sub>				
		А+М <sub>КТ</sub>	А+М <sub>КТ</sub> +ФК <sub>П</sub>	А+М <sub>КТ</sub> +ФК <sub>О</sub>	П+М <sub>КТ</sub> +ФК <sub>П</sub>	О+М <sub>КТ</sub> +ФК <sub>О</sub>
<i>GWP</i> kgCO <sub>2eq.</sub>	108.845	48.333	52.631	43.937	64.376	33.526
% у односу на Т	/	-55.59%	-51.65%	-59.63%	-40.86%	-69.20%

Уочава се да је и након просечне разградње поздера потенцијал глобалног загревања (*GWP*) песимистичног сценарија П+М<sub>КТ</sub>+ФК<sub>П</sub>+ФО<sub>23%/75%</sub> за 37.933kgCO<sub>2eq.</sub> нижи од оптимистичног сценарија Т+ФК<sub>О</sub>, који износи 102.309kgCO<sub>2eq.</sub> (Табела 7.11). Имплементација песимистичног

<sup>55</sup> Т+ФК<sub>П</sub>: споља - 10 обнова акрилног малтера и прајмера и две обнове експандираног полистирена, цементног лепка, типлова и мреже од стаклених влакана, унутра – 10 обнова акрилне боје и прајмера и две обнове гипсаног малтера;

Т+ФК<sub>О</sub>: споља - 7 обнова акрилног малтера и прајмера и једна обнове експандираног полистирена, цементног лепка, типлова и мреже од стаклених влакана, унутра – 7 обнова акрилне боје и прајмера и једна обнове гипсаног малтера.

( $A+M_{KT}+FK_{II}$ ) и оптимистичног  $A+M_{KT}+FK_{O}$  режима обнова на сценарио  $A+M_{KT}$  има нижи релативни утицај од имплементације песимистичног ( $T+FK_{II}$ ) и оптимистичног ( $T+FK_{O}$ ) режима обнова на функционалну јединицу  $T$ . Режији обнове у сценаријима од бетона од конопље и креча имају мање варијације пошто варирају за само једну спољашњу или унутрашњу обраду зида у односу на сценарио  $A+M_{KT}$ . Сценарији зидова од бетона од конопље и креча углавном имају више потпуних обнова спољашње обраде зида, али потпуна обнова контактне фасаде је свеукупно еколошки штетнија од једне обнове спољашње завршне обраде од кречног теста (2.5cm).

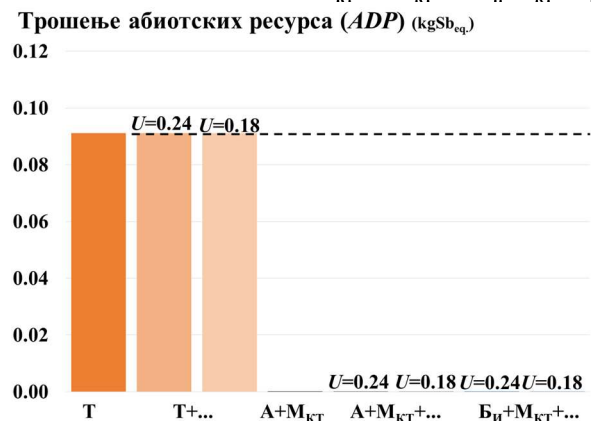
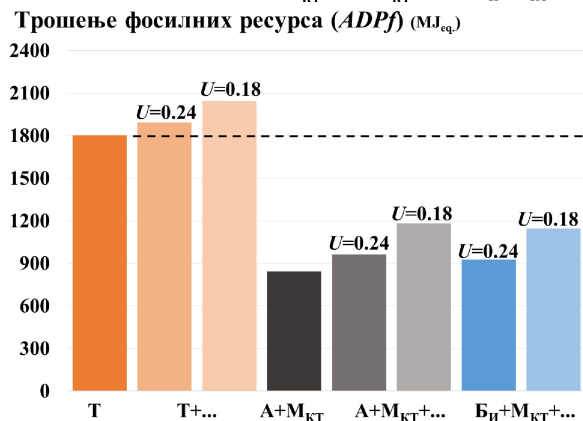
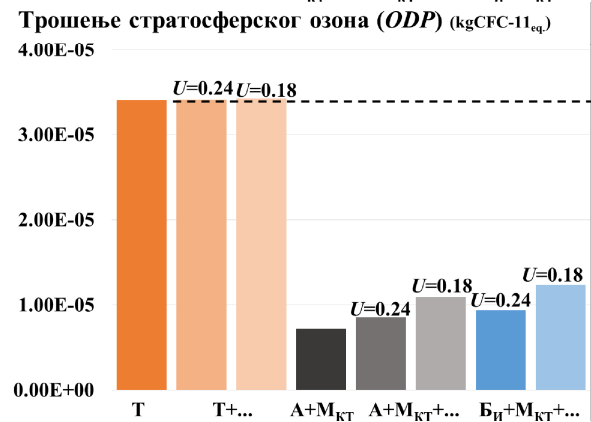
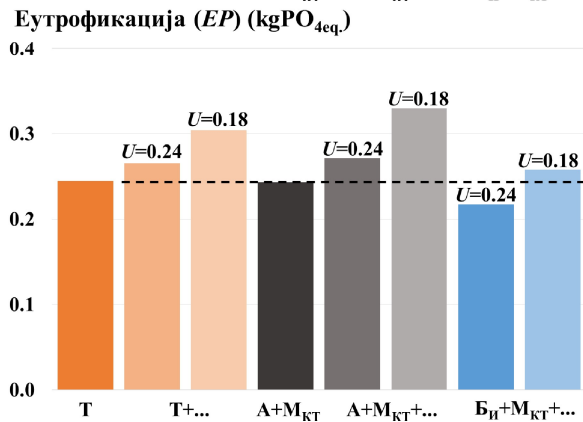
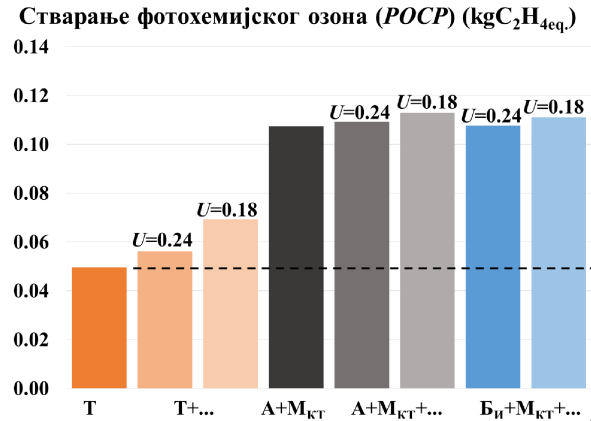
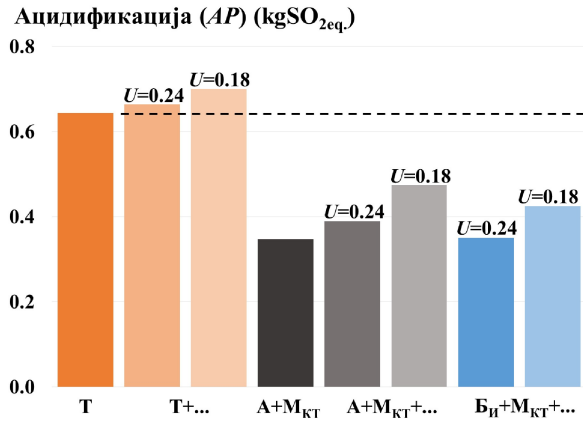
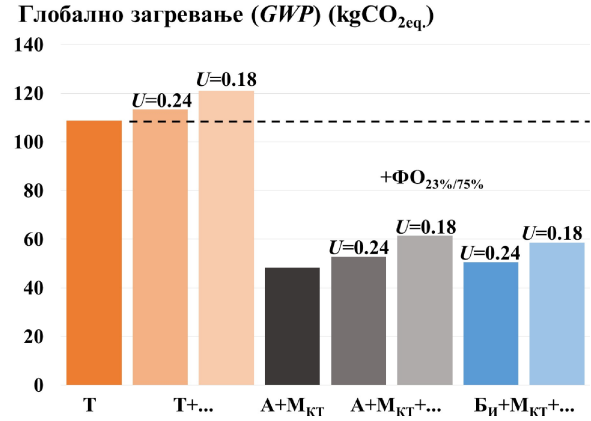
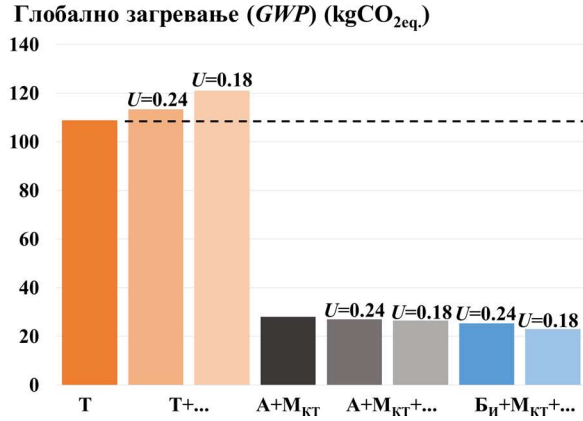
Велики број површинских обнова прајмера, малтера и боје такође доприносе да сценарији типичне градње имају еколошки штетнију фазу коришћења. Иако не би требало занемарити недостатке традиционалних техника производње кречног теста, може се аргументовати да је примена традиционалне обраде од кречног теста свеобухватно еколошки исправнија стратегија од савремене контактне фасаде. Уз способност везивања  $CO_2$ , основна предност обраде од кречног теста је дужи животни век у односу на танкослојне малтере који се користе у систему контактне фасаде. Поставком екстремног сценарија обнова малтера од кречног теста може се стећи коначни увид у однос типичне праксе и градње бетоном од конопље и креча. Уколико се број обнова малтера у сценарију  $II+M_{KT}+FK_{II}+FO_{23\%/75\%}$  дуплира (укупно 6 спољашњих и 4 унутрашње обнове) потенцијал глобалног загревања би и даље био за 13.704kgCO<sub>2eq.</sub> нижи од резултата сценарија  $T+FK_{O}$  (Прилог А Табела ПА8). Сви остали еколошки показатељи осим потенцијала еутрофикације и стварања фотохемијског озона такође остају нижи. Стога је јасно да невезано од режима обнова у фази коришћења, зидови од бетона од конопље и креча могу бити свеукупно еколошки исправнији у односу на типичну грађевинску праксу у Србији. Кључно за даље еколошко побољшавање материјала је оптимизација производње кречног теста и смањивање штетних утицаја потенцијала еутрофикације (*EP*) и стварања фотохемијског озона (*POCP*).

**7.6 Процена животног циклуса: Анализа осетљивости - Варијација коефицијента пролаза топлоте (+ $U=0.24$ / $+U=0.18$ )**

Еколошки утицај варирања коефицијента пролаза топлоте у функционалној јединици Т и сценаријима А+М<sub>КТ</sub> и Би+М<sub>КТ</sub> је приказан у Табели 7.13 и Слици 7.6.

Табела 7.13: Еколошки утицај варирање коефицијента пролаза топлоте у функционалној јединици Т и сценаријима А+М<sub>КТ</sub> и Би+М<sub>КТ</sub> (+ $U=0.24$ / $+U=0.18$ )

Сценарио	<i>GWP</i> kgCO <sub>2</sub> eq.	<i>AP</i> kgSO <sub>2</sub> eq.	<i>EP</i> PO <sub>4</sub> eq.	<i>POCP</i> kgC <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq.	<i>ODP</i> kgCFC-11eq.	<i>ADPe</i> kgSbeq.	<i>ADPf</i> MJeq.
<b>Т</b>	108.845	0.644	0.245	4.95E-02	3.40E-05	9.11E-02	1802.950
<b>Т+<math>U=0.24</math></b>	113.388	0.664	0.266	5.62E-02	3.41E-05	9.11E-02	1891.087
% у односу на Т	<b>+4.17%</b>	<b>+3.13%</b>	<b>+8.64%</b>	<b>+13.43%</b>	<b>+0.26%</b>	<b>+0.002%</b>	<b>+4.89%</b>
<b>Т+<math>U=0.18</math></b>	121.113	0.700	0.304	6.94E-02	3.43E-05	9.11E-02	2044.402
% у односу на Т	<b>+11.27%</b>	<b>+8.70%</b>	<b>+24.35%</b>	<b>+40.07%</b>	<b>+0.68%</b>	<b>+0.002%</b>	<b>+13.39%</b>
<b>А+М<sub>КТ</sub></b>	28.026	0.347	0.243	1.07E-01	7.19E-06	1.52E-04	841.541
% у односу на Т	<b>-74.25%</b>	<b>-46.06%</b>	<b>-0.56%</b>	<b>+116.67%</b>	<b>-78.88%</b>	<b>-99.83%</b>	<b>-53.32%</b>
<b>А+М<sub>КТ</sub>+<math>U=0.24</math></b>	27.062	0.390	0.271	1.09E-01	8.54E-06	1.68E-04	961.911
% у односу на Т	<b>-75.14%</b>	<b>-39.42%</b>	<b>+10.89%</b>	<b>+120.43%</b>	<b>-74.92%</b>	<b>-99.82%</b>	<b>-46.65%</b>
<b>А+М<sub>КТ</sub>+<math>U=0.18</math></b>	26.559	0.475	0.329	1.13E-01	1.09E-05	1.97E-04	1181.086
% у односу на Т	<b>-75.60%</b>	<b>-26.27%</b>	<b>+34.66%</b>	<b>+127.84%</b>	<b>-67.89%</b>	<b>-99.78%</b>	<b>-34.49%</b>
<b>Би+М<sub>КТ</sub>+<math>U=0.24</math></b>	25.309	0.350	0.217	1.08E-01	9.40E-06	1.76E-04	925.690
% у односу на Т	<b>-76.75%</b>	<b>-45.57%</b>	<b>-11.26%</b>	<b>+117.37%</b>	<b>-72.39%</b>	<b>-99.81%</b>	<b>-48.66%</b>
<b>Би+М<sub>КТ</sub>+<math>U=0.18</math></b>	22.984	0.425	0.258	1.11E-01	1.23E-05	2.07E-04	1145.132
% у односу на Т	<b>-78.88%</b>	<b>-33.98%</b>	<b>+5.43%</b>	<b>+123.88%</b>	<b>-63.75%</b>	<b>-99.77%</b>	<b>-36.49%</b>



Слика 7.6: Еколошки утицај варирања коефицијента пролаза топлоте

Смањивање коефицијента пролаза топлоте функционалне јединице Т подразумева повећавање дебљине термоизолације од експандираног полистирена, што негативно утиче на резултате свих еколошких показатеља. Услед веће производње експандираног полистирена, смањивање коефицијента пролаза топлоте има највећи релативан утицај на потенцијал еутрофикације (*EP*) и стварања фотохемијског озона (*POCP*). Утицај на потенцијал трошења стратосферског озона (*ODP*) и трошења абиотских ресурса (*ADP*) је готово неприметан, пошто производња и одлагање експандираног полистирена има низак релативни утицај на ова два показатеља а мало повећање масе материјала нема велики утицај на превоз. Резултати не расту пропорционално пошто у фази производње сценарио  $T+U=0.24$  уноси 0.55kg више експандираног полистирена од функционалне јединице Т, док сценарио  $T+U=0.18$  уноси 1.35kg више. Стога постизање коефицијента пролаза топлоте од  $0.18\text{W}/\text{m}^2\text{K}$  резултира у додатној емисији од  $13.701\text{kgCO}_{2\text{eq}}$ , док постизање коефицијента од  $0.24\text{W}/\text{m}^2\text{K}$  резултира у додатној емисији од  $4.568\text{kgCO}_{2\text{eq}}$ . Пошто би повољнији утицај сценарија  $T+U=0.18$  на оперативну енергију могао надоместити додатне уграђене емисије стаклене баште, ове разлике потенцијално и нису толико значајне. Без разматрања еколошких утицаја потрошње енергије у фази коришћења није могуће дати суд о релативној еколошкој исправности сценарија  $T+U=0.24$  и  $T+U=0.18$ .

Смањивање коефицијента пролаза топлоте сценарија  $A+M_{\text{KT}}$  подразумева примену веће количине поздера и везива и изградњу дебљег зида од бетона од конопље и креча. Уочава се да сценарији  $A+M_{\text{KT}}$  и  $B_{\text{и}}+M_{\text{KT}}$  имају много повољније резултате од функционалне јединице Т чак и кад им се коефицијент пролаза топлоте спусти на  $0.18\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ . Као и у претходним анализама осетљивости, сценарији од бетона од конопље и креча имају већи утицај на потенцијал еутрофикације (*EP*) и стварања фотохемијског озона (*POCP*). Директним поређењем сценарија  $A+M_{\text{KT}}+U=0.18$  и  $T+U=0.18$ , уочава се да је потенцијал еутрофикације (*EP*) сценарија  $T+U=0.18$  19.33% нижи, док је потенцијал стварања фотохемијског озона (*POCP*) 50.21% нижи. Сви остали показатељи су значајно нижи код сценарија  $A+M_{\text{KT}}+U=0.18$ . Зидови од бетона од конопље и креча захтевају већи додатак уноса, пошто зид у сценарију  $A+M_{\text{KT}}+U=0.18$  садржи 21.7kg више поздера и 43.4kg више везива у односу на зид у сценарију  $A+M_{\text{KT}}$ . Смањивањем коефицијента пролаза топлоте релативни пораст еколошких показатеља је стога израженији код сценарија од бетона од конопље и креча у односу на сценарије типичне новоградње (Прилог А Табела ПА9 и ПА10). Једини изузетак је потенцијал глобалног загревања (*GWP*), који заправо мало пада пошто везивање  $\text{CO}_{2\text{eq}}$  у додатној количини поздера у великој мери неутралише емисије гасове стаклене баште из осталих процеса. Дакле, уколико поздер остане инертан на крају животног века, потенцијал глобалног загревања (*GWP*) може пасти иако други еколошки показатељи расту. Неопходно је сагледати потенцијал глобалног

загревања (*GWP*) и са алтернативном фазом одлагања, те Табела 7.14 узима у обзир разградњу поздера на крају животног века ( $+FO_{23\%/75\%}$ ).

Табела 7.14: Утицај разградње поздера ( $+FO_{23\%/75\%}$ ) на потенцијал глобалног загревања (*GWP*) сценарија  $A+M_{KT}$ ,  $A+M_{KT}+U=0.24/0.18$  и  $B_{II}+M_{KT}+U=0.24/0.18$  у односу на функционалну јединицу *T*

	<i>T</i>	Сценарио $+FO_{23\%/75\%}$				
		$A+M_{KT}$	$A+M_{KT}+U=0.24$	$A+M_{KT}+U=0.18$	$B_{II}+M_{KT}+U=0.24$	$B_{II}+M_{KT}+U=0.18$
<i>GWP</i> kgCO <sub>2eq.</sub>	108.845	48.333	52.784	61.555	50.663	58.597
% у односу на <i>T</i>	/	-55.59%	-51.50%	-43.45%	-53.45%	-46.16%

Евидентно је да и када се узме у обзир просечан сценарио распадања поздера, зидови од бетона од конопље и креча са нижим коефицијентом пролаза топлоте испуштају значајно мање гасова стаклене баште од функционалне јединице *T*. Лошија ефикасност система за скупљање гасова стаклене баште на депонији би негативно утицала на потенцијал глобалног загревања (*GWP*). Међутим, потенцијал глобалног загревања (*GWP*) сценарија  $A+M_{KT}+U=0.18$  би и даље био значајно нижи од резултата функционалне јединице *T* и кад би систем имао ефикасност од 50% ( $GWP=79.342\text{kgCO}_{2\text{eq.}}$ ) или 25% ( $GWP=97.129\text{kgCO}_{2\text{eq.}}$ ). Зидови од бетона од конопље и креча стога имају свеукупно ниже уграђене еколошке утицаје и повољнији утицај на уштеду оперативне енергије. Услед типа обраде потенцијал стварања фотохемијског озона (*POCP*) је и даље најнеповољнији показатељ код зидова од бетона од конопље и креча у односу на типичну. Овај недостатак се може исправити ефикаснијом производњом кречног малтера или применом алтернативне обраде. Може се аргументовати да је основни недостатак зидова од бетона од конопље и креча у односу на типичну праксу, утицај на потенцијал еутрофикације (*EP*). Спуштањем коефицијента пролаза топлоте сценарија  $A+M_{KT}$  на  $0.18\text{W/m}^2\text{K}$ , потенцијал стварања фотохемијског озона (*POCP*) расте за само 5.15% док потенцијал еутрофикације (*EP*) расте за 35.42% (Прилог А Табела ПА5). Стога се неповољан потенцијал еутрофикације (*EP*) може већински приписати самој конструкцији од бетона од конопље и креча, а не обради. Сценарио  $T+U=0.18$  има 7.66% нижи потенцијал еутрофикације (*EP*) од сценарија  $A+M_{KT}+U=0.18$ , али се може аргументовати да релативно мала разлика у потенцијалу еутрофикације (*EP*) није довољна да умањи остале предности конструкција од бетона од конопље и креча.

Основни практични недостатак зидова од бетона од конопље и креча је велика дебљина конструкције при нижим коефицијентима пролаза топлоте (Табела 7.6). Пошто је топлотна проводљивост експандираног полистирена значајно нижа од топлотне проводљивости бетона од конопље и креча, иако сценарио  $A+M_{KT}$  (33.5cm) има тању конструкцију од функционалне јединице  $T$  (37.2cm), сценарио  $T+U=0.24$  (39.2cm) има мало тању конструкцију од сценарија  $A+M_{KT}+U=0.24$  (40.5cm). При коефицијенту пролаза топлоте од  $0.18W/m^2K$  разлика у потребној дебљини зида постаје све израженија, па је сценарио  $A+M_{KT}+U=0.18$  (53.5cm) скоро 8cm дебљи него сценарио  $T+U=0.18$  (46.2cm). Међутим зид у сценарију  $A+M_{KT}+U=0.18$  је 21.8% лакши од зида у сценарију  $T+U=0.18$ . Сценарио  $B_{и}+M_{KT}+U=0.18$  представља средину између типичне праксе и *in situ* примене бетона од конопље и креча. Пошто се функционална јединица  $T$  може користити као испуна између стубова од бетона и челика, сценарио  $B_{и}+M_{KT}+U=0.18$  се може директно поредити са сценаријом  $T+U=0.18$ . Стога иако сценарио  $B_{и}+M_{KT}+U=0.18$  представља дебљу конструкцију од сценарија  $T+U=0.18$ , велика разлика у уграђеним еколошким утицајима указује да би примена блокова од конопље и креча била еколошки исправнија опција и да еколошке предности не треба занемарити у корист мањих уштеда у простору. Сценарио  $B_{и}+M_{KT}+U=0.18$ , такође има мало нижи коефицијент пролаза топлоте од сценарија  $T+U=0.18$  и  $A+M_{KT}+U=0.18$ , што додатно ублажава недостатак веће дебљине зида у односу на типичну праксу.

Иако сценарио  $B_{и}+M_{KT}+U=0.18$  не представља носећи зид, коефицијент пролаза топлоте остаје испод  $0.18W/m^2K$  и при интеграцији рамовског конструктивног система од дрвета. У случају већих дебљина зида може бити практичније користити блокове уместо *in situ* изливања бетона од конопље и креча, пошто је зид у сценарију  $B_{и}+M_{KT}+U=0.18$  за скоро 4cm тањи од зида у сценарију  $A+M_{KT}+U=0.18$ . Изградња зидова дебљине сценарија  $A+M_{KT}+U=0.18$  је могуће спровести у пракси, али није честа пракса пошто би већа дебљина зида, неминовно одужило процес сушења зида. Сценарији  $B_{и}+M_{KT}+U=24/B_{и}+M_{KT}+U=18$  имају нешто мањи еколошки утицај на све показатеље осим потенцијала трошења стратосферског озона (*ODP*) и абиотских ресурса (*ADP*) од сценарија  $A+M_{KT}+U=24/A+M_{KT}+U=18$ . Међутим треба узети у обзир да сценарији  $B_{и}+M_{KT}+U=24$  и  $B_{и}+M_{KT}+U=18$  нису носеће конструкције и да слој малтера између блокова може негативно утицати на хигротермално понашање зида. Стога се може аргументовати да до коефицијента пролаза топлоте од  $0.24W/m^2K$ <sup>56</sup> примена *in situ* бетона од конопље и креча може бити еколошки исправнија опција у многим ситуацијама, али да би за постизање нижег коефицијента пролаза топлоте, из практичних разлога било исправније применити префабриковане блокове од бетона од конопље и

---

<sup>56</sup> Или до дебљине зида од 36cm

креча или комбиновати *in situ* бетон од конопље и креча са другим термоизолационим материјалом<sup>57</sup>.

### 7.7 Стратегије енергетске санације постојећих зиданих конструкција (Стб+... и Сгб+...)

Основне конструкције постојећих зидова се дефинишу на основу типологије стамбених објеката у Србији (Јовановић Поповић и др. 2012, Јовановић Поповић и др. 2013 и Јовановић Поповић и др. 2016). Оне представљају  $1\text{m}^2$  необрађене и неизоловане постојеће конструкције од термо (Стб<sub>50</sub>/Стб<sub>100</sub>) или гитер блокова (Сгб<sub>50</sub>/Сгб<sub>100</sub>) са животним веком од 50 или 100 година на које се додаје изолација од *in situ* бетона од конопље и креча (+БКК<sub>ИС</sub>), блокова од бетона од конопље и креча (+БКК<sub>Б</sub>) или систем контактне фасаде (+КФ<sub>ЕПС</sub>) са термоизолацијом од експандираног полистирена, како би се постигао коефицијент пролаза топлоте од  $0.30\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ . Анализирају се стратегије енергетске санације са животним веком од 50 и 100 година, како би се узеле у обзир различите старости објеката у пракси. Према „Правилнику о енергетској ефикасности зграда“ (МГСИ 2011) при санацији постојећих објеката довољно је постићи коефицијент пролаза топлоте од  $0.40\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ . Међутим пошто је пожељно постићи што нижи коефицијент пролаза топлоте, дефинише се вредност прописана за објекте у новоградњи. Слика 7.7 приказује основу сценарија Стб и Сгб.



Слика 7.7: Основа сценарија Стб и Сгб

#### 7.7.1 Анализа инвентара: Стратегије енергетске санације постојећих зиданих конструкција

Сценарији Стб<sub>50</sub> и Стб<sub>100</sub> су дефинисани као  $1\text{m}^2$  необрађене и неизоловане постојеће конструкције од термо блокова са животним веком од 50 односно 100 година на који се додаје изолација од *in situ* бетона од конопље и креча (Стб<sub>50</sub>+БКК<sub>ИС</sub>/Стб<sub>100</sub>+БКК<sub>ИС</sub>), блокова од бетона од конопље и креча (Стб<sub>50</sub>+БКК<sub>Б</sub>/Стб<sub>100</sub>+БКК<sub>Б</sub>) или систем контактне фасаде са термоизолацијом од експандираног полистирена (Стб<sub>50</sub>+КФ<sub>ЕПС</sub>/Стб<sub>100</sub>+КФ<sub>ЕПС</sub>) како би се постигао коефицијент пролаза топлоте од

<sup>57</sup> Неопходно да материјал буде паропросустан нпр. блокови од бетона од конопље и креча, изолација од дрвених влакана итд.



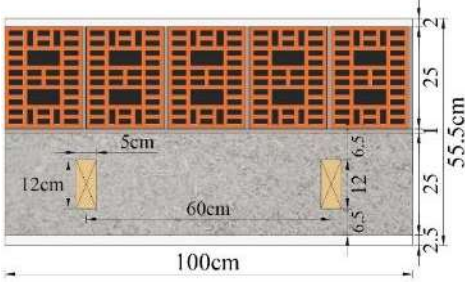
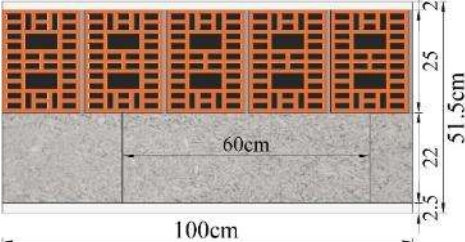
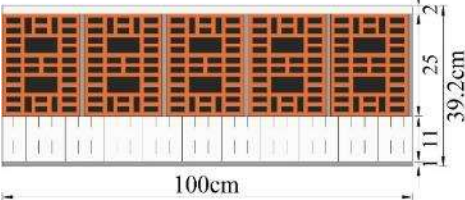
0.30W/m<sup>2</sup>K. Дебљина блокова од бетона од конопље и креча је усвојена у складу са дефинисаним коефицијентом пролаза топлоте. пролаза топлоте, термоизолациони слој и режим обнова завршних обрада за стратегије санације постојећег зида од термо блокова су приказани у Табели 7.15.

Табела 7.15: Стратегије енергетске санације постојеће зидане конструкције од термо блокова

Сценарио	Режим обнова	$U$ (W/m <sup>2</sup> K)	Термоизолациони слој	
	Стб <sub>50</sub> + БКК <sub>ИС</sub>	<b>Спољашња обнова:</b> Једна потпуна обнова малтера од кречног теста <b>Унутрашња обнова:</b> Једна потпуна обнова малтера од кречног теста	0.302	190mm бетон од конопље и креча (поздер: 19.8kg везиво: 39.6kg дрво: 4.5kg малтер: 12.5kg)
	Стб <sub>100</sub> + БКК <sub>ИС</sub>	<b>Спољашња обнова:</b> Две потпуне обнове малтера од кречног теста <b>Унутрашња обнова:</b> Две потпуне обнове малтера од кречног теста		
	Стб <sub>50</sub> + БКК <sub>Б</sub>	<b>Спољашња обнова:</b> Једна потпуна обнова малтера од кречног теста <b>Унутрашња обнова:</b> Једна потпуна обнова малтера од кречног теста	0.299	170mm блокова од бетона од конопље и креча (поздер: 18.4kg везиво: 34.9kg малтер: 6.6kg)
	Стб <sub>100</sub> + БКК <sub>Б</sub>	<b>Спољашња обнова:</b> Две потпуне обнове малтера од кречног теста <b>Унутрашња обнова:</b> Две потпуне обнове малтера од кречног теста		
	Стб <sub>50</sub> + КФ <sub>ЕПС</sub>	<b>Спољашња обнова:</b> 4 обнова акрилног малтера и прајмера <b>Унутрашња обнова:</b> 4 обнове акрилног прајмера и боје и једна обнова гипсаног малтера	0.293	90mm (1.35kg) експандирани полистирен у склопу система контактне фасаде
	Стб <sub>100</sub> + КФ <sub>ЕПС</sub>	<b>Спољашња обнова:</b> 9 обнова акрилног малтера и прајмера, једна обнова експандираног полистирена, цементног лепка, типлова и мреже. <b>Унутрашња обнова:</b> 9 обнова акрилног прајмера и боје и две обнове гипсаног малтера		

За санацију зида од гитер блокова (Сгб) дефинишу се сценарији  $Сгб_{50}+БКК_{ис}$ ,  $Сгб_{100}+БКК_{ис}$ ,  $Сгб_{50}+БКК_{б}$ ,  $Сгб_{100}+БКК_{б}$ ,  $Сгб_{50}+КФ_{ЕПС}$  и  $Сгб_{100}+КФ_{ЕПС}$  приказани у Табели 7.16. Осим зидова од термо и гитер блокова, многи објекти из XX века у Србији су изграђени користећи пуну опеку. Међутим у склопу испитивања утврђено је да би сценарији санације зида од једне и по опеке дебљине 38cm били готово исти као и сценарији санације зида од гитер блокова дебљине 25cm. Независни сценарији санације зида од опеке стога нису дефинисани, али се може сматрати да би сценарији приказани у Табели 7.16 били референтни и за зид од пуне опеке дебљине 38cm.

Табела 7.16: Стратегије енергетске санације постојеће зидане конструкције од гитер блокова

Сценарио	Режим обнова	$U$ (W/m <sup>2</sup> K)	Термоизолациони слој
	СГб <sub>50</sub> + БКК <sub>ИС</sub>	<b>Спољашња обнова:</b> Једна потпуна обнова малтера од кречног теста <b>Унутрашња обнова:</b> Једна потпуна обнова малтера од кречног теста	25cm бетон од конопље и креча (поздер: kg везиво: kg дрво: kg малтер: 12.5kg)
	СГб <sub>100</sub> + БКК <sub>ИС</sub>	<b>Спољашња обнова:</b> Две потпуне обнове малтера од кречног теста <b>Унутрашња обнова:</b> Две потпуне обнове малтера од кречног теста	
	СГб <sub>50</sub> + БКК <sub>Б</sub>	<b>Спољашња обнова:</b> Једна потпуна обнова малтера од кречног теста <b>Унутрашња обнова:</b> Једна потпуна обнова малтера од кречног теста	22cm блокова од бетона од конопље и креча (поздер: kg везиво: kg малтер: 8.5kg)
	СГб <sub>100</sub> + БКК <sub>Б</sub>	<b>Спољашња обнова:</b> Две потпуне обнове малтера од кречног теста <b>Унутрашња обнова:</b> Две потпуне обнове малтера од кречног теста	
	СГб <sub>50</sub> + КФ <sub>ЕПС</sub>	<b>Спољашња обнова:</b> 4 обнова акрилног малтера и прајмера <b>Унутрашња обнова:</b> 4 обнове акрилног прајмера и боје и једна обнова гипсаног малтера	11cm (1.65kg) експандирани полистирен у склопу система контактне фасаде
	СГб <sub>100</sub> + КФ <sub>ЕПС</sub>	<b>Спољашња обнова:</b> 9 обнова акрилног малтера и прајмера, једна обнова експандираног полистирена, цементног лепка, типлова и мреже. <b>Унутрашња обнова:</b> 9 обнова акрилног прајмера и боје и две обнове гипсаног малтера	

У свим сценаријима је поставка да се производња блокова и зидарског малтера не узима у обзир. Претпоставља се да се приступа санацији зида који је необрађен са унутрашње и спољашње стране. Сценарији СГб+БКК<sub>ИС</sub> и Стб+БКК<sub>ИС</sub> представљају сценарије санације зида од гитер односно термо блокова применом *in situ* бетона од конопље и креча. Анализа инвентара за производњу поздера, везива, дрвене грађе и малтера од кречног теста је идентична као и за све претходне сценарије од

бетона од конопље и креча. Поставка фазе изградње је такође идентична као и у функционалној јединици А (поглавље 5.3.2). Сировине се превозе 125km до локације изградње, узима се у обзир формирање 5% грађевинског отпада и стратегија управљања отпадом је идентична. Додатак фази изградње је производња малтера од везива и песка који се може користити као подлога за примену бетона од конопље и креча на зид. Примена бетона од конопље и креча у слоју до 11cm дебљине не захтева примену потпорне дрвене грађе. Пошто примена бетона од конопље и креча у сценаријима Сгб+БКК<sub>ИС</sub> и Стб+БКК<sub>ИС</sub> захтева примену потпорне дрвене грађе, фаза изградње подразумева и производњу челичних спојница за повезивање дрвене грађе са постојећим зидом. У фази коришћења подразумева се једна потпуна обнова малтера од кречног теста и песка са спољашње и унутрашње стране. Фактор карбонатизације везива је идентичан као и у функционалној јединици А. Фаза одлагања прати преседане сценарија А+М<sub>КТ</sub> и функционалне јединице Т. У фази одлагања малтер од кречног теста се најпре отклања са површине бетона од конопље и креча. Зид се руши хидрауличним багером и бетон од конопље и креча, дрвена грађа и зид од блокова се раздвајају на локацији. Дрвена грађа се превози 20km (16-32t EURO6) на спаљивање, блокови и малтер се превозе 20km (>32t EURO6) до центра за сортирање грађевинског отпада, док се бетон од конопље и креча превози 125km (>32t EURO6) до центра за рециклирање материјала. Укупно 10% сортираног малтера, блокова и бетона од конопље и креча не може да се користи као агрегат и превози се 20km (16-32t EURO6) на санитарну депонију.

Сценарији Сгб+БКК<sub>Б</sub> и Стб+БКК<sub>Б</sub> представљају сценарије санације зида од гитер односно термо блокова применом префабрикованих блокова од бетона од конопље и креча. Анализа инвентара за производњу поздера, везива, блокова малтера за слагање блокова и малтера од кречног теста је идентична као и за све претходне сценарије од блокова од бетона од конопље и креча. Поставка фазе изградње је идентична као и у сценарију Би+М<sub>КТ</sub>. У фази изградње није неопходно малтерисати спољашњу површину зида јер се блокови спајају применом челичних спојница (5/m<sup>2</sup>). Пошто се блокови примењују у једном слоју, релативна потрошња малтера за слагање блокова је нижа. Фаза коришћења је идентична као и у сценаријима Сгб+БКК<sub>ИС</sub> и Стб+БКК<sub>ИС</sub>. Фаза одлагања прати преседане сценарија Би +М<sub>КТ</sub> и функционалне јединице Т. Малтер од кречног теста се најпре отклања са површине бетона од конопље и креча, па се зид руши хидрауличним багером. Термо блокови и малтер се превозе 20km (>32t EURO6) до центра за сортирање грађевинског отпада, док се блокови од конопље и креча превозе 125km (>32t EURO6) до центра за рециклирање материјала. 10% функционалне јединице се превози још 20km (16-32t EURO6) до санитарне депоније и одлаже, док се остатак рециклира као агрегат.

Сценарији Сгб+КФ<sub>ЕПС</sub>и Стб+КФ<sub>ЕПС</sub> представљају сценарије санације зида од гитер односно термо блокова применом система контактне фасаде који користи термоизолацију од експандираног полистирена. Фаза производње претпоставља производњу система контактне фасаде са спољашњу обраду зида и гипсаног малтера за унутрашњу обраду зида. Анализа инвентара за контактну фасаду и гипсани малтер се преузима из функционалне јединице Т (поглавље 7.2.1). Поставка фазе изградње је као у функционалној јединици Т. Фаза коришћења претпоставља четири обнове акрилног прајмера и малтера са спољашње стране зида и једну обнову гипсаног малтера и четири обнове прајмера и фарбе са унутрашње стране зида. Поставка фазе одлагања је идентична као у функционалној јединици Т.

### **7.7.2 Процена животног циклуса: Компаративна анализа стратегија енергетске санације постојећих зиданих конструкција (Сгб+/Стб+)**

Табеле 7.17 и 7.18 и Слика 7.8 приказују резултате процене животног циклуса сценарија енергетске санације постојећих зидова од гитер и термо блокова са животним веком од 50 година. У табелама 7.17 и 7.18 сценарији Сгб<sub>50</sub>+БКК<sub>ИС</sub> и Стб<sub>50</sub>+БКК<sub>ИС</sub> који представљају стратегију енергетске санације применом *in situ* бетона од конопље и креча се дефинишу као референтни сценарији. Табеле 7.19 и 7.20 и Слика 7.9 приказују резултате процене животног циклуса сценарија енергетске санације постојећих зидова од гитер и термо блокова са животним веком од 100 година. Сценарији Сгб<sub>100</sub>+БКК<sub>ИС</sub> и Стб<sub>100</sub>+БКК<sub>ИС</sub> који представљају стратегију енергетске санације применом *in situ* бетона од конопље и креча се дефинишу као референтни сценарији.

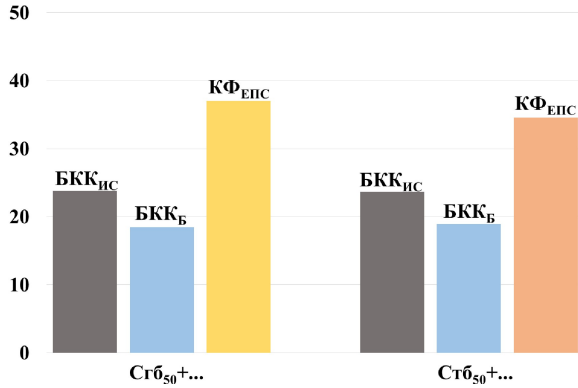
Табела 7.17: Еколошки утицај санације постојеће конструкције од гитер блокова са животним веком од 50 година (Сгб<sub>50</sub>)

Сценарио	<i>GWP</i> kgCO <sub>2</sub> eq.	<i>AP</i> kgSO <sub>2</sub> eq.	<i>EP</i> PO <sub>4</sub> eq.	<i>POCP</i> kgC <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq.	<i>ODP</i> kgCFC-11eq.	<i>ADPe</i> kgSb <sub>eq.</sub>	<i>ADPf</i> MJ <sub>eq.</sub>
Сгб <sub>50</sub> +БКК <sub>ИС</sub>	23.791	0.297	0.200	7.45E-02	6.54E-06	1.37E-04	732.317
Сгб <sub>50</sub> +БКК <sub>ИС</sub> +Ф <sub>О</sub> 23%/75%	41.526	0.297	0.200	7.45E-02	6.54E-06	1.37E-04	732.317
% у односу на Сгб <sub>50</sub> +БКК <sub>ИС</sub>	<b>74.54%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>
Сгб <sub>50</sub> +БКК <sub>Б</sub>	18.454	0.249	0.151	7.24E-02	6.69E-06	1.27E-04	656.034
% у односу на Сгб <sub>50</sub> +БКК <sub>ИС</sub>	<b>-22.43%</b>	<b>-15.99%</b>	<b>-27.57%</b>	<b>-2.85%</b>	<b>+2.16%</b>	<b>-6.97%</b>	<b>-10.48%</b>
Сгб <sub>50</sub> +БКК <sub>Б</sub> +Ф <sub>О</sub> 23%/75%	35.894	0.249	0.151	7.24E-02	6.69E-06	1.27E-04	656.034
% у односу на Сгб <sub>50</sub> +БКК <sub>ИС</sub>	<b>+50.87%</b>	<b>-15.99%</b>	<b>-27.57%</b>	<b>-2.85%</b>	<b>+2.16%</b>	<b>-6.97%</b>	<b>-10.48%</b>
Сгб <sub>50</sub> +КФ <sub>ЕПС</sub>	37.003	0.260	0.077	2.37E-02	1.37E-05	4.55E-02	645.404
% у односу на Сгб <sub>50</sub> +БКК <sub>ИС</sub>	<b>+55.54%</b>	<b>-12.28%</b>	<b>-62.88%</b>	<b>-68.15%</b>	<b>+109.02%</b>	<b>+33115%</b>	<b>-11.93%</b>

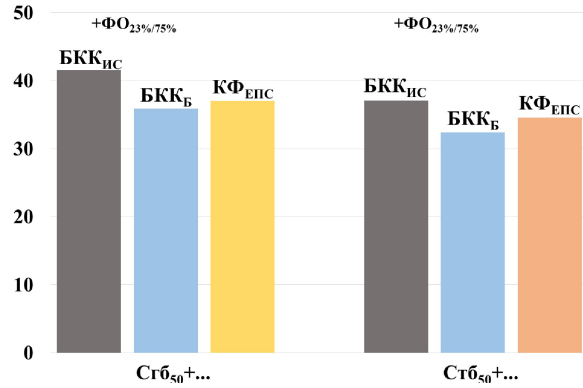
Табела 7.18: Еколошки утицај санације постојеће конструкције од термо блокова са животним веком од 50 година (Стб<sub>50</sub>)

Сценарио	<i>GWP</i> kgCO <sub>2</sub> eq.	<i>AP</i> kgSO <sub>2</sub> eq.	<i>EP</i> PO <sub>4</sub> eq.	<i>POCP</i> kgC <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq.	<i>ODP</i> kgCFC-11eq.	<i>ADPe</i> kgSb <sub>eq.</sub>	<i>ADPf</i> MJ <sub>eq.</sub>
Стб <sub>50</sub> +БКК <sub>ИС</sub>	23.684	0.256	0.173	7.27E-02	5.39E-06	1.21E-04	625.337
Стб <sub>50</sub> +БКК <sub>ИС</sub> +Ф <sub>О</sub> 23%/75%	37.086	0.256	0.173	7.27E-02	5.39E-06	1.21E-04	625.337
% у односу на Стб <sub>50</sub> +БКК <sub>ИС</sub>	<b>+56.59%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>
Стб <sub>50</sub> +БКК <sub>Б</sub>	18.950	0.218	0.134	7.11E-02	5.49E-06	1.14E-04	565.634
% у односу на Стб <sub>50</sub> +БКК <sub>ИС</sub>	<b>-19.99%</b>	<b>-14.54%</b>	<b>-22.23%</b>	<b>-2.18%</b>	<b>+1.98%</b>	<b>-5.04%</b>	<b>-9.55%</b>
Стб <sub>50</sub> +БКК <sub>Б</sub> +Ф <sub>О</sub> 23%/75%	32.433	0.218	0.134	7.11E-02	5.49E-06	1.14E-04	565.634
% у односу на Стб <sub>50</sub> +БКК <sub>ИС</sub>	<b>+36.94%</b>	<b>-14.54%</b>	<b>-22.23%</b>	<b>-2.18%</b>	<b>+1.98%</b>	<b>-5.04%</b>	<b>-9.55%</b>
Стб <sub>50</sub> +КФ <sub>ЕПС</sub>	34.548	0.250	0.071	2.14E-02	1.35E-05	4.55E-02	601.883
% у односу на Стб <sub>50</sub> +БКК <sub>ИС</sub>	<b>+45.87%</b>	<b>-2.29%</b>	<b>-59.08%</b>	<b>-70.58%</b>	<b>+150.45%</b>	<b>+37599%</b>	<b>-3.75%</b>

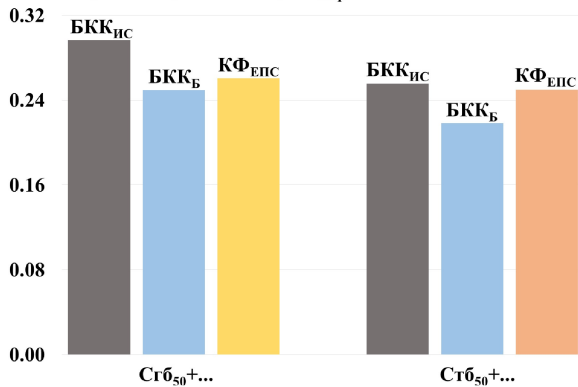
Глобално загревање (*GWP*) ( $\text{kgCO}_{2\text{eq}}$ )



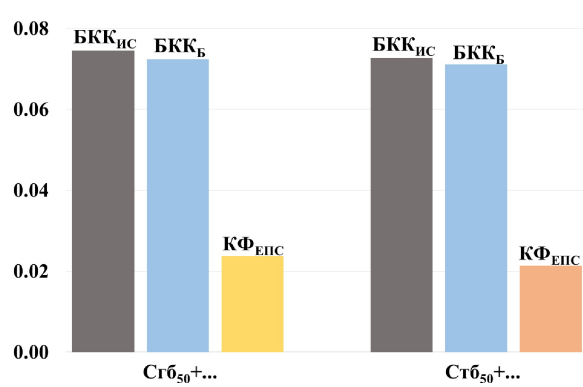
Глобално загревање (*GWP*) ( $\text{kgCO}_{2\text{eq}}$ )



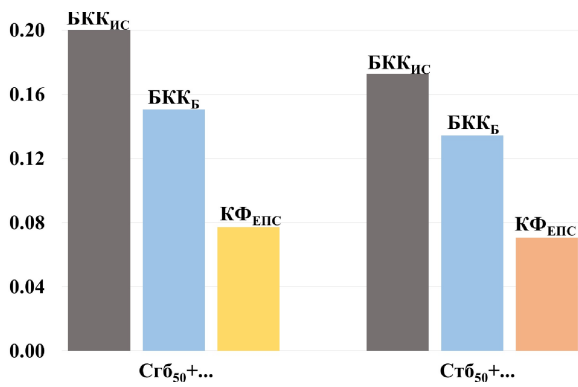
Ацидификација (*AP*) ( $\text{kgSO}_{2\text{eq}}$ )



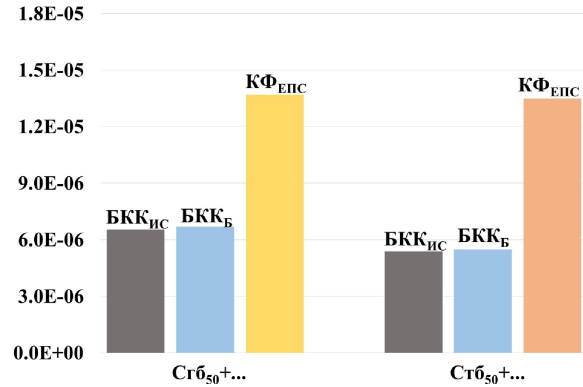
Стварање фотохемијског озона (*POCP*) ( $\text{kgC}_2\text{H}_{4\text{eq}}$ )



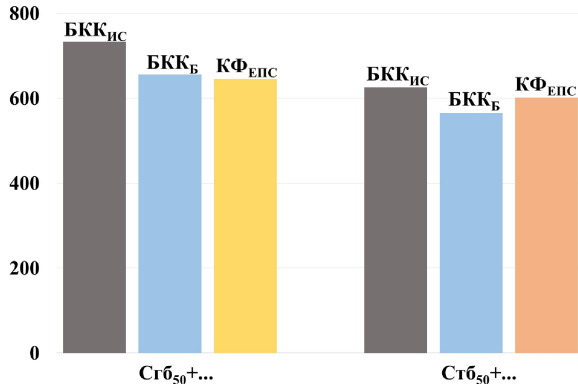
Еутрофикација (*EP*) ( $\text{kgPO}_{4\text{eq}}$ )



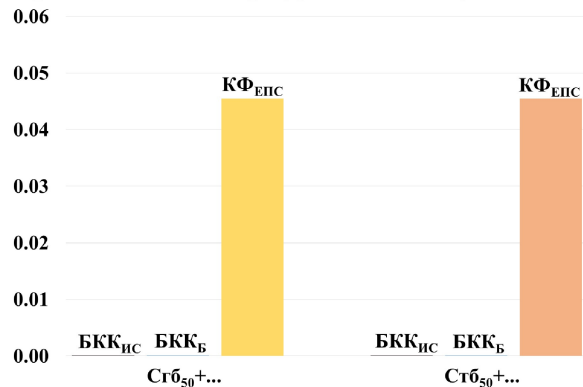
Трошење стратосферског озона (*ODP*) ( $\text{kgCFC-11}_{\text{eq}}$ )



Трошење фосилних ресурса (*ADPf*) ( $\text{MJ}_{\text{eq}}$ )



Трошење абиотских ресурса (*ADP*) ( $\text{kgSb}_{\text{eq}}$ )



Слика 7.8: Еколошки утицај енергетске санације постојећих конструкција од гитер (Stб50) и термо (Стб50) блокова

Табела 7.19: Еколошки утицај санације постојеће конструкције од гитер блокова са животним веком од 100 година (Сгб<sub>100</sub>)

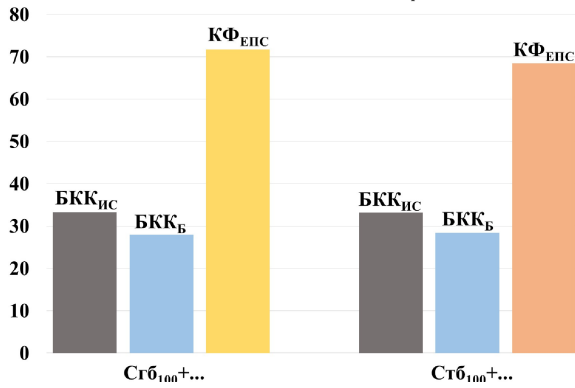
Сценарио	<i>GWP</i> kgCO <sub>2</sub> eq.	<i>AP</i> kgSO <sub>2</sub> eq.	<i>EP</i> PO <sub>4</sub> eq.	<i>POCP</i> kgC <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq.	<i>ODP</i> kgCFC-11eq.	<i>ADPe</i> kgSbeq.	<i>ADPf</i> MJeq.
<b>Сгб<sub>100</sub>+БКК<sub>ИС</sub></b>	33.255	0.348	0.244	1.07E-01	7.18E-06	1.66E-04	849.877
<b>Сгб<sub>100</sub>+БКК<sub>ИС</sub>+Ф<sub>О</sub>23%/75%</b>	50.990	0.348	0.244	1.07E-01	7.18E-06	1.66E-04	849.877
% у односу на Сгб <sub>100</sub> +БКК <sub>ИС</sub>	<b>+53.33%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>
<b>Сгб<sub>100</sub>+БКК<sub>Б</sub></b>	27.918	0.300	0.187	1.05E-01	7.33E-06	1.57E-04	773.042
% у односу на Сгб <sub>100</sub> +БКК <sub>ИС</sub>	<b>-16.05%</b>	<b>-13.65%</b>	<b>-23.46%</b>	<b>-1.98%</b>	<b>+1.97%</b>	<b>-5.74%</b>	<b>-9.04%</b>
<b>Сгб<sub>100</sub>+БКК<sub>Б</sub>+Ф<sub>О</sub>23%/75%</b>	45.358	0.300	0.187	1.05E-01	7.33E-06	1.57E-04	773.042
% у односу на Сгб <sub>100</sub> +БКК <sub>ИС</sub>	<b>+36.39%</b>	<b>-13.65%</b>	<b>-23.46%</b>	<b>-1.98%</b>	<b>+1.97%</b>	<b>-5.74%</b>	<b>-9.04%</b>
<b>Сгб<sub>50</sub>+КФ<sub>ЕПС</sub></b>	71.770	0.507	0.217	4.71E-02	2.69E-05	9.09E-02	1251.511
% у односу на Сгб <sub>100</sub> +БКК <sub>ИС</sub>	<b>+115.8%</b>	<b>+45.63%</b>	<b>-11.19%</b>	<b>-56.21%</b>	<b>+274.93%</b>	<b>+54604%</b>	<b>+47.26%</b>

Табела 7.20: Еколошки утицај санације постојеће конструкције од термо блокова са животним веком од 100 година (Стб<sub>100</sub>)

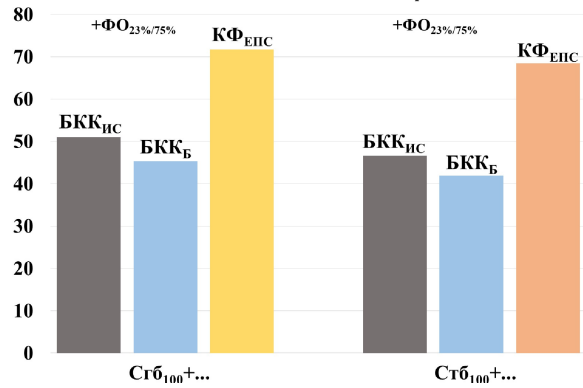
Сценарио	<i>GWP</i> kgCO <sub>2</sub> eq.	<i>AP</i> kgSO <sub>2</sub> eq.	<i>EP</i> PO <sub>4</sub> eq.	<i>POCP</i> kgC <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq.	<i>ODP</i> kgCFC-11eq.	<i>ADPe</i> kgSbeq.	<i>ADPf</i> MJeq.
<b>Стб<sub>100</sub>+БКК<sub>ИС</sub></b>	33.148	0.307	0.209	1.06E-01	6.02E-06	1.50E-04	742.345
<b>Стб<sub>100</sub>+БКК<sub>ИС</sub>+Ф<sub>О</sub>23%/75%</b>	46.550	0.307	0.209	1.06E-01	6.02E-06	1.50E-04	742.345
% у односу на Стб <sub>100</sub> +БКК <sub>ИС</sub>	<b>+40.43%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>
<b>Стб<sub>100</sub>+БКК<sub>Б</sub></b>	28.414	0.270	0.171	1.04E-01	6.13E-06	1.44E-04	682.642
% у односу на Стб <sub>100</sub> +БКК <sub>ИС</sub>	<b>-14.28%</b>	<b>-12.12%</b>	<b>-18.36%</b>	<b>-1.50%</b>	<b>+1.78%</b>	<b>-4.05%</b>	<b>-8.04%</b>
<b>Стб<sub>100</sub>+БКК<sub>Б</sub>+Ф<sub>О</sub>23%/75%</b>	41.897	0.270	0.171	1.04E-01	6.13E-06	1.44E-04	682.642
% у односу на Стб <sub>100</sub> +БКК <sub>ИС</sub>	<b>+26.40%</b>	<b>-12.12%</b>	<b>-18.36%</b>	<b>-1.50%</b>	<b>+1.78%</b>	<b>-4.05%</b>	<b>-8.04%</b>
<b>Стб<sub>100</sub>+КФ<sub>ЕПС</sub></b>	68.446	0.492	0.196	4.26E-02	2.68E-05	9.09E-02	1182.920
% у односу на Стб <sub>100</sub> +БКК <sub>ИС</sub>	<b>+106.49%</b>	<b>+60.26%</b>	<b>-6.26%</b>	<b>-59.69%</b>	<b>+345.70%</b>	<b>+60547%</b>	<b>+59.35%</b>



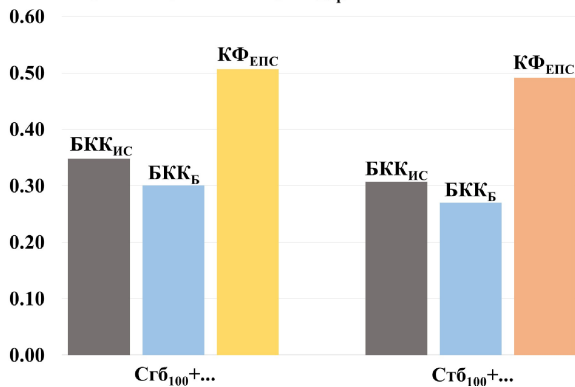
Глобално загревање (*GWP*) ( $\text{kgCO}_{2\text{eq}}$ )



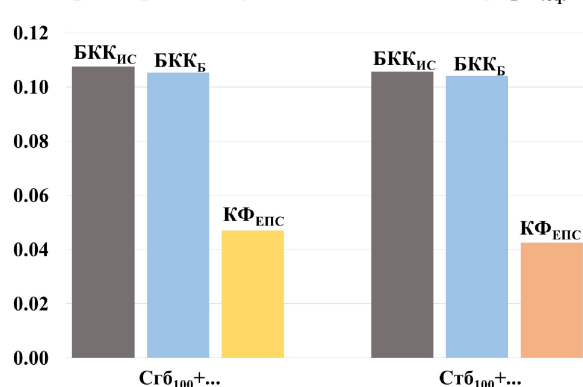
Глобално загревање (*GWP*) ( $\text{kgCO}_{2\text{eq}}$ )



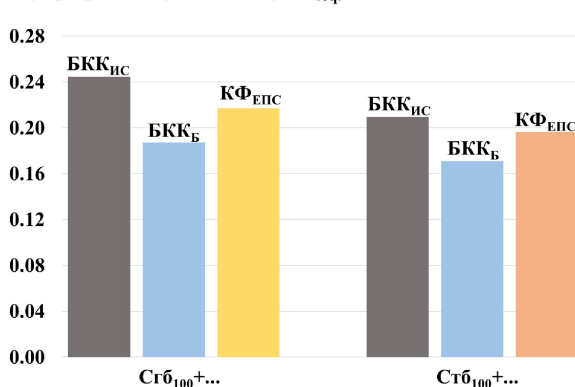
Ацидификација (*AP*) ( $\text{kgSO}_{2\text{eq}}$ )



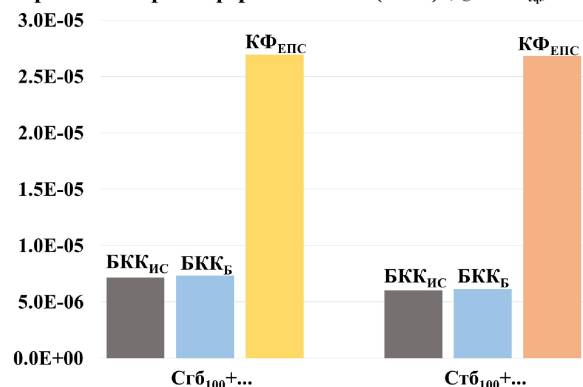
Стварање фотохемијског озона (*POCP*) ( $\text{kgC}_2\text{H}_{4\text{eq}}$ )



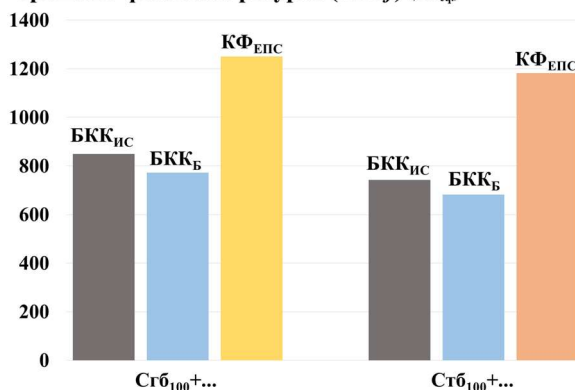
Еутрофикација (*EP*) ( $\text{kgPO}_{4\text{eq}}$ )



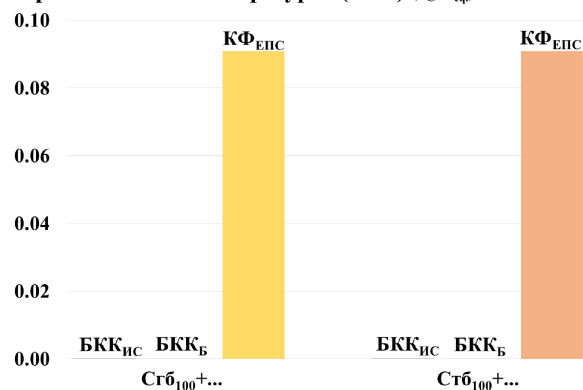
Трошење стратосферског озона (*ODP*) ( $\text{kgCFC-11}_{\text{eq}}$ )



Трошење фосилних ресурса (*ADPf*) ( $\text{MJ}_{\text{eq}}$ )



Трошење абиотских ресурса (*ADP*) ( $\text{kgSb}_{\text{eq}}$ )



Слика 7.9: Еколошки утицај енергетске санације постојећих конструкција од гитер (Сгб<sub>100</sub>) и термо (Стб<sub>100</sub>) блокова

Током животног века од 50 година енергетска санација постојећег зида од гитер блокова применом контактне фасаде има повољнији утицај на потенцијал ацидификације (*AP*), еутрофикације (*EP*), стварања фотохемијског озона (*POCP*) и трошења фосилних ресурса (*ADP<sub>f</sub>*). Пошто бетон од конопље и креча има већу топлотну проводљивост од изолације од експандираног полистирена, неопходно је применити значајно дебљи термоизолациони слој бетона од конопље и креча. Разлике у потенцијалу ацидификације (*AP*) и трошењу фосилних ресурса (*ADP<sub>f</sub>*) се могу превасходно приписати примени велике количине поздера и везива, пошто сценарио Сгб<sub>50</sub>+БКК<sub>Б</sub>, који примењује мању количину поздера и везива у блоковима од бетона од конопље и креча, има нижи потенцијал ацидификације (*AP*) и приближан потенцијал трошења фосилних ресурса (*ADP<sub>f</sub>*) у односу на сценарио Сгб<sub>50</sub>+КФ<sub>ЕПС</sub>. Услед велике разлике у резултатима, може се аргументовати да стратегије енергетске санације применом бетона од конопље и креча имају недостатак у потенцијалу еутрофикације (*EP*). Велике разлике у потенцијалу стварања фотохемијског озона (*POCP*) се могу кориговати применом алтернативног малтера, попут малтера од природног хидрауличног креча или комерцијално припремљеног малтера од кречног теста.

У односу на сценарио Сгб<sub>50</sub>+КФ<sub>ЕПС</sub> обе стратегије санације применом бетона од конопље и креча имају нижи потенцијал глобалног загревања (*GWP*), трошења стратосферског озона (*ODP*) и абитотских ресурса (*ADP*). Услед великих разлика у потенцијалу глобалног загревања (*GWP*) и трошења стратосферског озона (*ODP*) може се аргументовати да иако сценарио Сгб<sub>50</sub>+КФ<sub>ЕПС</sub> има предности у неколико еколошких показатеља, енергетска санација применом бетона од конопље и креча се може сматрати еколошки исправнијом. Међутим за разлику од анализираних сценарија новоградње када се у фази одлагања претпостави фактор распадања органског угљеника у поздеру од 23% и ефикасност система за сакупљање СН<sub>4</sub> од 75%, сценарио примене *in situ* бетона од конопље и креча има виши потенцијал глобалног загревања (*GWP*) од типичне праксе. Сценарио Сгб<sub>50</sub>+БКК<sub>Б</sub> са блоковима од бетона од конопље и креча има нижи потенцијал глобалног загревања (*GWP*) од сценарија Сгб<sub>50</sub>+КФ<sub>ЕПС</sub> чак и кад дође до разградње поздера у фази одлагања. Пошто сценарио Сгб<sub>50</sub>+БКК<sub>Б</sub> има ниже резултате од сценарија Сгб<sub>50</sub>+БКК<sub>ИС</sub> у свим показатељима осим потенцијала трошења стратосферског озона (*ODP*), евидентно је да је примена блокова од бетона од конопље и креча еколошки исправнија од *in situ* примене бетона од конопље и креча у санацији постојећих зидова од гитер блокова или опеке. Основни недостаци *in situ* примене бетона од конопље и креча у санацији су већи уноси поздера и везива и примена потпорне дрвене грађе. Иако сценарио Сгб<sub>50</sub>+БКК<sub>Б</sub> захтева примену малтера за спајање блокова и челичне спојнице за повезивање са постојећим зидом, сценарио Сгб<sub>50</sub>+БКК<sub>ИС</sub> захтева апликацију слоја малтера од везива на спољашњој

површини зида и челичне спојнице за повезивање дрвене грађе са зидом, што додатно неутралише неке од предности *in situ* примене материјала у новоградњи.

Резултати санације постојећег зида од термо блокова су слични резултатима санације постојећег зида од гитер блокова. Резултати су свеукупно нижи пошто је потребно применити тањи слој термоизолације на зид од термо блокова. Примена *in situ* бетона од конопље и креча (Стб<sub>50</sub>+БКК<sub>ИС</sub>) и даље има значајно већи потенцијал еутрофикације (*EP*) и стварања фотохемијског озона (*POCP*) од типичне праксе (Стб<sub>50</sub>+КФ<sub>ЕПС</sub>), али има приближан потенцијал ацидификације (*AP*) и потенцијал трошења фосилних ресурса (*ADPf*). У поређењу са сценаријом Стб<sub>50</sub>+БКК<sub>Б</sub>, сценарио Стб<sub>50</sub>+КФ<sub>ЕПС</sub> само има нижи потенцијал еутрофикације (*EP*) и стварања фотохемијског озона (*POCP*). Оптимизацијом обраде у сценаријима Стб<sub>50</sub>+БКК<sub>ИС</sub> и Стб<sub>50</sub>+БКК<sub>Б</sub>, потенцијал еутрофикације (*EP*) би био једини еколошки показатељ у ком типична пракса има видну предност. Када се узме у обзир разградња поздера на крају животног века само сценарио Стб<sub>50</sub>+БКК<sub>Б</sub> има нижи потенцијал глобалног загревања од сценарија типичне праксе, пошто испушта 2.115kgCO<sub>2eq</sub> мање од сценарија Стб<sub>50</sub>+КФ<sub>ЕПС</sub>. Евидентно је да је у санацији еколошки оптималније применити бетон од конопље и креча у форми блока.

Са животним веком саниране конструкције од 50 година, разлике у еколошким утицајима типичне праксе и сценарија који укључују примену бетона од конопље и креча су мање изражене у енергетској санацији него у новоградњи. Основни разлози за то су искључивање еколошких утицаја производње зида од блокова и краћи животни век од 50 година који подразумева мањи број обнова акрилног малтера, боје и прајмера у фази коришћења. Међутим, долази до значајнијих промена резултата кад се узму у обзир стратегије енергетске санације са животним веком од 100 година (Стб<sub>100</sub>+... и Стб<sub>100</sub>+...). Стратегије енергетске санације применом контактне фасаде (Стб<sub>100</sub>+КФ<sub>ЕПС</sub> и Стб<sub>100</sub>+КФ<sub>ЕПС</sub>) имају повољнији утицај само на потенцијал стварања фотохемијског озона (*POCP*) и делимично на потенцијал еутрофикације (*EP*). Примена *in situ* бетона од конопље и креча (Стб<sub>100</sub>+БКК<sub>ИС</sub> и Стб<sub>100</sub>+БКК<sub>ИС</sub>) и даље има неповољнији утицај на потенцијал еутрофикације (*EP*), услед веће примене поздера и везива у односу на блокове од бетона од конопље и креча (Стб<sub>100</sub>+БКК<sub>Б</sub> и Стб<sub>100</sub>+БКК<sub>Б</sub>). Разлике у свим осталим показатељима се продубљују те, иако је сценарио Стб<sub>50</sub>+КФ<sub>ЕПС</sub> имао за 12.28% нижи потенцијал ацидификације (*AP*) од сценарија Стб<sub>50</sub>+БКК<sub>ИС</sub>, сценарио Стб<sub>100</sub>+КФ<sub>ЕПС</sub> има 45.63% виши потенцијал ацидификације (*AP*) од сценарија Стб<sub>100</sub>+БКК<sub>ИС</sub>. И када се узме у обзир разградња поздера на крају животног века, енергетска санација конструкције од гитер блокова применом *in situ* бетона од конопље и креча (Стб<sub>100</sub>+БКК<sub>ИС</sub>+Ф<sub>О<sub>23%/75%</sub></sub>) има за 40.75% нижи утицај на потенцијал глобалног загревања (*GWP*) од

сценарија Стб<sub>100</sub>+КФ<sub>ЕПС</sub>.<sup>58</sup> У случају повећавања животног века постојеће необрађене конструкције, разлика у еколошким утицајима постаје значајнија, пошто сценарији који укључују бетон од конопље и креча захтевају само додатну обнову спољашње обраде од кречног малтера, док сценарији који представљају типичну праксу захтевају потпуну замену контактне фасаде и додатне обнове малтера, прајмера и боје са унутрашње и спољашње стране зида. Стога се може аргументовати да је примена бетона од конопље и креча еколошки исправна и у дугорочнијим стратегијама енергетске санације и да се еколошке предности у односу на типичну праксу повећавају са све дужим животним веком конструкције.

Са дужим животним веком конструкције, енергетска санација применом *in situ* бетона од конопље и креча такође постаје значајно еколошки исправнија од типичне праксе примене контактне фасаде. Међутим енергетска санација применом *in situ* бетона од конопље има практичне и еколошке недостатке у односу на санацију применом блокова од бетона од конопље и креча. На основу анализираних сценарија енергетске санације уочава се да је санација постојећих зидова применом блокова од бетона од конопље и креча свеобухватно еколошки исправније решење од типичне праксе и са животним веком конструкције од 50 година. Изван утицаја на потенцијал еутрофикације (*EP*), основни недостатак примене блокова од бетона конопље и креча је практичне природе пошто је неопходно применити блокове у значајно већим дебљинама од плоча од експандираног полистирена. Дебљина блокова би се могла умањити уколико би малтер за повезивање блокова имао нижу топлотну проводљивост или обрадом зида термоизолационим малтером, попут малтера од поздера индустријске конопље и везива. Коначно, на основу дугорочних сценарија енергетске санације са животним веком од 100 година, може се аргументовати да би уместо система контактне фасаде и у новоградњи било еколошки исправнији применити термоизолацију од бетона од конопље и креча, са конструкцијом од опекарских блокова, али да то не би био његов еколошки најоптималнији начин примене.

Примена *in situ* бетона од конопље и креча у санацији може бити еколошки оправдана, али конструкција од дрвета умањује еколошке предности и практичност примене материјала. Примена *in situ* бетона од конопље и креча у санацији може бити еколошки исправнија од примене блокова од бетона од конопље и креча у дебљинама до 110mm, када није потребно применити потпорну дрвену конструкцију. *In situ* бетон од конопље и креча је такође оптималан избор при санацији

---

<sup>58</sup> Енергетска санација конструкције од термо блокова применом *in situ* бетона од конопље и креча (Стб<sub>100</sub>+БКК<sub>ИС</sub>+ФО<sub>23%/75%</sub>) има за 47.04% нижи утицај на потенцијал глобалног загревања (*GWP*) од сценарија Стб<sub>100</sub>+КФ<sub>ЕПС</sub>.

објеката градитељског наслеђа где је основни приоритет очување саме структуре објекта. На примеру објекта из истраживања „Национална типологија стамбених зграда Србије“ (Јовановић-Поповић и др. 2013) са зидом од чатме од 100mm ( $U=0.96\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ), замена оронуте испуне са бетоном од конопље и креча смањује коефицијент пролаза топлоте зид на  $0.62\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ . Додавањем додатног слоја од 8cm *in situ* бетона од конопље и креча коефицијент пролаза топлоте би се спустио на  $0.399\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ .

## 8. Закључак

Примена грађевинских материјала на биолошкој основи представља једну од мера која може умањити негативан утицај грађевинске индустрије на животну средину. У том светлу, бетон од конопље и креча је идентификован као потенцијално еколошки исправан грађевински материјал који се може применити у новоградњи и енергетској санацији постојећих објеката у Србији, што је проверено кроз процене животног циклуса различитих конструкција у којима се примењује бетон од конопље и креча.

### 8.1 Закључна разматрања

Бетон од конопље и креча је релативно нов и слабо коришћен материјал у контексту Србије и еколошки утицаји његове примене и производње су у нашем контексту недовољно испитани. У раду су еколошки утицаји изградње зидова од бетона од конопље и креча у Србији испитани применом методологије процене животног циклуса. Анализом постојеће литературе о животном циклусу бетона од конопље и креча идентификовани су недостаци литературе и дефинисан је оквир истраживања. Уочено је да постојећа истраживања нису довољно критички анализирали способност материјала да веже  $\text{CO}_2$  кроз фотосинтезу индустријске конопље и карбонатизацију везива. Постојећа истраживања такође нису узела у обзир еколошки утицај варирања приноса индустријске конопље и утицај стварања отпада током животног циклуса материјала. Варирањем приноса индустријске конопље, два фактора везивања  $\text{CO}_2$ , раздаљине превоза материјала и стопе стварања грађевинског отпада, формирана су три основна сценарија (просечан, песимистичан и оптимистичан) који указују на широк спектар еколошких утицаја асоцираних са животним веком зида од бетона од конопље и креча. Већина постојећих истраживања је такође недовољно анализирали фазу одлагања. Дефинисањем процеса у склопу животног века зида од бетона од конопље и креча, у анализи инвентара је уочено да је разградња органског угљеника у поздери у фази одлагања основна непознаница. Стога је анализиран еколошки утицај примене различитих фактора разградње органског угљеника на крају животног века зида од бетона од конопље и креча.

Постојећа литература о животном циклусу бетона од конопље и креча представља скуп индивидуалних сценарија у различитим географским контекстима са методолошким разликама које не дозвољавају директна поређења резултата. Дефинисањем једне основне функционалне јединице са којом су повезани различити сценарији примене бетона од конопље, омогућено је извођење оригиналних компаративних анализа, као што су директно поређење еколошких утицаја *in situ* примене и префабрикације у блокове, као и поређење еколошких утицаја различитих заршних обрада зида. Еколошке импликације различитих начина примене материјала су испитане кроз утицај

префабрикације материјала у блокове и утицај примене различитих обрада на унутрашњу и спољашњу површину зида.

Методологија процене животног циклуса је генерално слабо примењивана у Србији и домаћа грађевинска пракса је недовољно анализирана са аспекта уграђених еколошких утицаја. У раду је кроз процену животног циклуса различитих сценарија типичне грађевинске праксе у новоградњи и енергетској санацији, омогућена детаљна анализа еколошких утицаја тренутне грађевинске праксе у Србији. На основу сазнања о животном циклусу зидова од бетона од конопље и креча дефинисани су сценарији који су директно упоређени са примерима типичне праксе у новоградњи (зид од опекарских блокова са контактном фасадом) и санацији (апликација контактне фасаде на постојећи зид) у Србији. Овим поређењем је потврђена прва хипотеза да

*„Физичка својства, квантитативни подаци добијени методом процене животног циклуса и директно квантитативно поређење са типичним склоповима у постојећој градитељској пракси указују да је бетон од конопље и креча еколошки исправан материјал за примену у Србији, како у новоградњи, тако и приликом санације постојећих објеката“.*

Необрађени зидови од бетона од конопље и креча Функционална јединица А (просечан сценарио) и сценарио О (оптимистичан сценарио) су имали негативан потенцијал глобалног загревања (*GWP*) од колевке до гроба. Ово указује да зид од бетона од конопље и креча може да веже више гасова стаклене баште него што испусти, што указује на значајну еколошку предност. Ипак, применом песимистичних фактора везивања  $\text{CO}_2$ , раздаљина превоза и стопа стварања грађевинског отпада (песимистични сценарио П), потенцијал глобалног загревања (*GWP*) постаје позитиван и чак 192.84% више од резултата оптимистичног сценарија О. Највећи утицај на потенцијал глобалног загревања имају фактор везивања  $\text{CO}_2$  индустријске конопље и фактор карбонатизације везива. Са високим фактором везивања  $\text{CO}_2$ , значајна количина  $\text{CO}_2$  може бити везана у поздеру, док висок фактор карбонатизације везива у фази коришћења може умањити ефекат значајне емисије  $\text{CO}_2$  која настаје услед калцинације кречњака током производње везива. Стога потенцијал глобалног загревања (*GWP*) конструкције од бетона од конопље и креча може значајно варирати у пракси, али је у даљем истраживању показано да се и конструкције са песимистичним факторима везивања  $\text{CO}_2$  повољно пореде са типичном грађевинском праксом у новоградњи у Србији.

У поређењу са типичном праксом у Србији (Функционална јединица Т, Тгб итд.), евидентно је да обрађени песимистични сценарији зидова од бетона од конопље и креча ( $\text{П}+\text{M}_{\text{КТ}}$ ,  $\text{П}+\text{M}_{\text{КТ}}+\text{FO}_{23\%/75\%}$ )

и  $\text{П}+\text{М}_{\text{КТ}}+\text{ФК}_{\text{П}}$ ) имају повољније резултате у већини еколошких показатеља. И песимистични сценарији зидова од бетона од конопље и креча имају мањи еколошки утицај на потенцијал глобалног загревања (*GWP*), ацидификације (*AP*) и трошења стратосферског озона (*ODP*), абиотских ресурса (*ADP*) и фосилних ресурса (*ADP<sub>f</sub>*). Уочено је да зидови од бетона од конопље и креча имају неповољнији утицај само на потенцијал еутрофикације (*EP*), док је неповољнији утицај на потенцијал фотохемијског озона (*POCP*) превасходно везан за тип обраде. Утврђено је да производња кречног теста на традиционалн начин може имати веома неповољан утицај на потенцијал фотохемијског озона (*POCP*) услед неефикасног сагоревања дрвета током калцинације кречњака. Примена малтера од природног хидрауличног креча или потенцијална примена комерцијално произведеног кречног теста може имати повољнији утицај на потенцијал фотохемијског озона (*POCP*)<sup>59</sup>. Обрађени песимистичан сценарио зида од бетона од конопље и креча са конзервативним сценаријом обнове у фази коришћења и степеном органске разградње угљеника у поздери од 23% на крају животног века ( $\text{П}+\text{М}_{\text{КТ}}+\text{ФК}_{\text{П}}+\text{ФO}_{23\%/75\%}$ ) испусти чак 40.86% мање гасова стаклене баште од типичног сценарија новоградње (функционална јединица Т).

У сценаријима енергетске санације, са животним веком од 50 година, разлике у потенцијалу ацидификације (*AP*) и трошењу фосилних ресурса (*ADP*) се смањују, а разлике у потенцијалу еутрофикације (*EP*) и стварања фотохемијског озона (*POCP*) се продубљују. Међутим сценарији санације зидова са блоковима од бетона од конопље и креча ( $\text{Cгб}_{50}+\text{БКК}_{\text{Б}}$  и  $\text{Cгб}_{50}+\text{БКК}_{\text{Б}}$ ) су имали нижи еколошки утицај на потенцијал глобалног загревања (*GWP*), ацидификације (*AP*), трошења стратосферског озона (*ODP*) и абиотских ресурса (*ADP*) од оба сценарија типичне праксе ( $\text{Cгб}_{50}+\text{КФ}_{\text{ЕПС}}$  и  $\text{Cтб}_{50}+\text{КФ}_{\text{ЕПС}}$ ). У дугорочним стратегијама енергетске санације са животним веком од 100 година еколошке предности примене бетона од конопље и креча се повећавају. Услед нижих емисија гасова стаклене баште и нижих утицаја на друге еколошке показатеље, у односу на типичну грађевинску праксу, евидентно је да је бетон од конопље и креча еколошки исправан материјал за примену у Србији како у новоградњи тако и у санацији.

Кроз анализе осетљивости израчунати су уграђени еколошки утицаји различитих сценарија зидова од бетона од конопље и креча, који омогућавају квалификовање еколошке исправности различитих модела или ситуација примене материјала. Међутим, пошто неке факторе није могуће контролисати у пракси, и сценарији не могу да узму у обзир утицај зида на оперативну енергију специфичног

---

<sup>59</sup> Комерцијална производња кречног теста би претпостављала калцинацију кречњака у савременој ефикасној пећи која користи природни гас за гориво, по узору на производњу хидратисаног креча које се користи у везиву.



објекта или специфичности контекста примене материјала, није могуће дати апсолутну оцену о еколошкој исправности свих модела без додатне контекстуализације. Анализе осетљивости омогућавају формирање препорука за еколошки исправну примену материјала, али не и дефинисање једног оптималног модела. Ово је у складу са претпоставком изнетом у другој хипотези која гласи

*„На основу квантитативних разлика, у еколошким показатељима за климатске промене, ацидификацију, еутрофикацију, трошење стратосферског озона, стварање фотохемијског озона и трошење минералних и фосилних ресурса, које настају услед варијација током животног века бетона од конопље и креча, могуће је дефинисати еколошки исправне моделе примене бетона од конопље и креча у датом контексту.“*

Анализе осетљивости у склопу сценарија П и О потврђују да фактори везивања  $\text{CO}_2$  фотосинтезом индустријске конопље и карбонатизацијом везива дефинишу еколошку исправност материјала. Високи фактори везивања  $\text{CO}_2$  могу да надоместе ниске приносе индустријске конопље, високе раздаљине превоза материјала и високе губитке грађевинског материјала током изградње. Међутим, не треба занемарити утицај приноса индустријске конопље, превоза материјала на локацију и количине грађевинског отпада на друге показатеље. Фактор везивања  $\text{CO}_2$  се може дефинисати мерењем садржаја угљеника у поздеру „Хелене“ и других сорти индустријске конопље. Еколошке перформансе материјала се могу побољшати применом сорти индустријске конопље са високим приносом и фактором везивања  $\text{CO}_2$ , без прекомерне примене ђубрива. Рециклажом материјала на крају животног века умањују се еколошки утицаји других производних система и стварају додатне прилике за карбонатизацију везива, уколико је материјал био у субоптималним амбијенталним условима током животног века. Постојање локалне производње би смањило негативне еколошке утицаје високих раздаљина превоза. Успостављање добре праксе у превозу и изградњи може умањити стварање грађевинског отпада. Указано је да разградња органског угљеника може значајно умањити способност материјала да дугорочно веже  $\text{CO}_2$  након коначног одлагања. Стога је веома важно развити инфраструктуру за управљање отпадом како би се испуштени  $\text{CH}_4$  могао што ефикасније сакупити и искористити за производњу енергије.

Са аспекта уграђених еколошких утицаја, када се бетон од конопље и креча користи као саставни део структуре у склопу рамовског конструктивног система од дрвета, *in situ* примена материјала има еколошку предност у односу на префабриковане блокове. Уколико бетон од конопље и креча има иста физичка својства, *in situ* примена има значајне еколошке предности у односу на префабрикацију у блокове. Додатни процеси префабрикације, и производње малтера и челичних

спојница негативно утичу на све еколошке показатеље. Пошто производња везива има највећи индивидуални утицај на готово све еколошке показатеље, еколошки утицај производње блокова би се највише могао побољшати смањивањем количине везива у односу на поздер у мешавини. Такође би било корисно користити малтер са нижом топлотном проводљивошћу, који би омогућио примену тањих блокова за постизање истог коефицијента пролаза топлоте. Међутим, пошто блокови не захтевају примену рамовског конструктивног система за структурну подршку, они имају еколошку предност са аспекта уграђених еколошких утицаја, у односу на *in situ* бетон од конопље и креча када се материјал примењује као испуна или облога у склопу алтернативног скелетног конструктивног система. Када се бетон од конопље и креча користи у комбинацији са рамовским дрвеним конструктивним системом, еколошки утицаји *in situ* примене и префабрикованих блокова се приближавају за коефицијенте пролаза топлоте испод  $0.24\text{W/m}^2\text{K}$ . Иако *in situ* примена и даље има нижи потенцијал глобалног загревања и до коефицијента пролаза топлоте од  $0.18\text{W/m}^2\text{K}$ , изградња дебелих зидова користећи префабриковане блокове има своје предности пошто се избегавају прекомерно дуги периоди сушења материјала на локацији изградње и може бити прикладнија опција у зависности од контекста. При енергетској санацији постојећих зидова од опеке или блокова је такође еколошки исправније користити префабриковане блокове пошто не захтевају примену потпорне дрвене грађе и могу да се апликују на површину зида у мањим дебелинама. Коначно, због лакше примене, може се препоручити примена *in situ* бетона од конопље и креча за санацију објеката градитељског наслеђа који користе конструкције од бондрука и испуну од чатме.

Могућност примене *in situ* и у префабрикованој форми, чини бетон од конопље и креча свестраним грађевинским материјалом који има еколошке предности и у новоградњи и при санацији. Поред тога што допуњава глобалну литературу о животном циклусу бетона од конопље и креча, спроведено истраживање представља изворну студију о животном циклусу бетона од конопље и креча у контексту Србије. Дефинисане су основне смернице за примену материјала пошто је евидентно да не постоји један оптималан начин примењив у свим ситуацијама. Може се аргументовати да је значајно интегрисати процену животног циклуса у развојној фази грађевинског пројекта како би се утврдили еколошки најоптималнији начин примене материјала према контексту локације и пројекта. Модели за процену животног циклуса дефинисани у истраживању представљају теоретску основу за даљу примену бетона од конопље и креча у Србији и могу да се користе као оквир за нове сценарије процене животног циклуса. Ови модели стога могу промовисати увођење методологије процене животног циклуса у све будуће пројекте у Србији који користе бетон од конопље и креча. Тиме се не промовише само примена бетона од конопље и креча већ и увођење методологије процене животног циклуса у рану фазу процеса пројектовања у грађевинској пракси, како би се у

будућности могла развити база података за еколошки утицај других грађевинских материјала произведених у Србији. Постоје значајне предности у успостављању локалне производње, али је неопходно да еколошки утицаји производње у Србији буду приближни еколошким утицајем производње у западној Европи. Евидентно је да је производња и примена бетона од конопље и креча у Србији еколошки исправна и да треба наставити истраживања о њему и проширити примену материјала у пракси.

## **8.2 Правци даљег истраживања**

Пошто је бетон од конопље и креча релативно нов материјал у Србији, постоји потенцијал за даља истраживања у различитим правцима. Евидентно је да додатна истраживања, базирана на експериментима и симулацијама, могу проширити сазнања о животном циклусу бетона од конопље и креча и допринети еколошки исправнијој примени материјала у пракси. Кључна неизвесност у животном циклусу бетона од конопље и креча је потенцијални степен разградње органског угљеника поздера након коначног одлагања материјала. Било би значајно доћи до експерименталних података који указују на дугорочно понашање материјала уопште, као и у условима депоније. Испитивање еколошког утицаја традиционалне производње креча експерименталним мерењем емисија приликом печења кречњака на традиционалан начин би било значајно за дефинисање оптималних завршних обрада за зид од бетона од конопље и креча. Истраживање је показало да производња бетона од конопље и креча у Србији може бити еколошки исправна. Утврђена је еколошка исправност материјала који садржи метакаолин у везиву, чиме је указано да успостављање производње метакаолина у Србији може бити сврсисходно. Са аспекта развоја материјала у Србији указано је и на алтернативне сировине које би се могле искористити у оригиналним везивима. Било би значајно извршити експериментална истраживања са циљем утврђивања оптималног састава композитног везива и оптималне мешавине материјала применом сировина из Србије. Ово би захтевало експериментално испитивање физичких својстава попут хигротермичких карактеристика, понашања у условима пожара и сл. различитих мешавина бетона од конопље и креча добијених варирањем са једне стране типа везива, а са друге стране односа поздера према везиву. Применом утврђеног модела за процену животног циклуса би се потом могла утврдити релативна еколошка исправност физички најисправнијих мешавина. У складу са овим било би значајно дефинисати физички и еколошки најоптималније блокове од бетона од конопље и креча.

За даља истраживања процене животног циклуса било би корисно проширити обим истраживања и испитати еколошки утицај примене бетона од конопље и креча на нивоу једнопородичног стамбеног

објекта. За детаљније разумевање предности и недостатака *in situ* примене бетона од конопље и креча и префабрикације у блокове, неопходно је направити поређење на нивоу објекта. Кроз израду процене животног циклуса објекта могло би се продубити еколошко поређење *in situ* бетона од конопље и креча, блокова од бетона од конопље и креча и типичне праксе. Кроз енергетске симулације које моделирају хигротермално понашање бетона од конопље и креча у *WUFI Plus* софтверу, било би могуће испитати утицај материјала на оперативну енергију стамбеног објекта. Применом енергетских симулација могао би се испитати утицај хигротермалног понашања бетона од конопље и креча на енергетску потрошњу у односу на типичан објекат са истим коефицијентом пролаза топлоте. Такође би било значајно кроз симулације упоредити конструкцију зида од *in situ* бетона од конопље и креча са оном изведеном од блокова од бетона од конопље и креча како би се испитао утицај малтера на хигротермално понашање оваквих зидова.

Крајњи циљеви даљих истраживања су проширење сазнања о еколошки исправној примени бетона од конопље и креча и промоција примене еколошки одрживих грађевинских материјала у контексту Србије. Са друге стране, сама примена методологије процене животног циклуса на примеру грађевинских материјала у оквирима Србије омогућила би генерално успостављање еколошки исправнијег начина грађења.

## Литература

- Abbe, Owen and Lorna Hamilton. 2017. *BRE Global Environmental Weighting for Construction Products using Selected Parameters from EN 15804*. Watford: Building Research Establishment.  
[https://www.bre.co.uk/filelibrary/Materials/Environmental-weightings-15804\\_final.pdf](https://www.bre.co.uk/filelibrary/Materials/Environmental-weightings-15804_final.pdf)
- Akagi, Sheryl, Robert J. Yokelson, Christine Wiedinmeyer, Matthew J. Alvarado, Jeffery S. Reid, Thomas Karl, John D. Crouse and Paul O. Wennberg. 2011. "Emission factors for open and domestic biomass burning for use in atmospheric models." *Atmospheric Chemistry and Physics* 11: 4039-4072.  
<https://doi.org/10.5194/acp-11-4039-2011>
- Allard, Ingrid, Gireesh Nair and Thomas Olofsson. 2021. Energy performance criteria for residential buildings: A comparison of Finish, Norwegian, Swedish and Russian building codes. *Energy and Buildings* 250:111276.  
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111276>
- Anderson, Brian. 2006. *Conventions for U-Value calculations*. Bracknell: BRE Press.  
[https://www.bre.co.uk/filelibrary/rpts/uvalue/BR\\_443\\_\(2006\\_Edition\).pdf](https://www.bre.co.uk/filelibrary/rpts/uvalue/BR_443_(2006_Edition).pdf)
- Anderson, Jane, David Shiers, and Kristian Steele. 2009. *Green Guide to Specification*. Bracknell: IHS BRE Press & John Wiley & Sons.
- Ammaducci, Stefano and Hans-Jörg Gusovius. 2010. "Hemp – Cultivation, Extraction and Processing." In *Industrial Applications of Natural Fibres: Structure, Properties and Technical Applications*, edited by Jürg Müssig, 109-134. Chichester: John Wiley and Sons.
- Amziane, Sofiane, Florence Collet, Mike Lawrence, Camille Magniont and Vincent Picandet. 2017. "Round robin for hemp shiv characterization - Part 1: Evaluation of initial water content and water absorption." In *Bio-aggregate Based Building Materials: State-of-the-Art Report of the RILEM Technical Committee 236-BBM*, edited by Sofiane Amziane and Florence Collet, 125-148. Dordrecht: Springer.
- Arehart, Jay.H., William S. Nelson and Wil V. Srubar III. 2020. "On the theoretical carbon storage and carbon sequestration potential of hempcrete." *Journal of Cleaner Production* 266: 1-13.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121846>
- Arrizzi, Anna, Giuseppe Cultrone, Monika Brümmer and Heather Viles. 2015. "A chemical, morphological and mineralogical study on the interaction between hemp hurds and aerial and natural hydraulic lime particles: Implications for mortar manufacturing." *Construction and Building Materials* 75: 375-384.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.11.026>
- Arnaud, Laurent, and Etienne Gourlay. 2012. "Experimental study of parameters influencing mechanical properties of hemp concretes." *Construction and Building Materials* 28(1): 50-56.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.07.052>
- Arrigoni, Alessandro, Renato Pelosato, Paco Melia, Gianluca Ruggieri, Sergio Sabbadini, and Giovanni Dotelli. 2017. "Life cycle assessment of natural building materials: the role of carbonation, mixture components and transport in the environmental impacts of hempcrete blocks." *Journal of Cleaner Products* 149 1051-1061. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.161>

- Australian Government. 2021. *National Greenhouse Account Factors: Australian National Greenhouse Accounts*. Canberra: Department of Industry, Science, Energy and Resources.  
<https://www.dceew.gov.au/sites/default/files/documents/national-greenhouse-accounts-factors-2021.pdf>
- Banca della Calce. 2021. *Calce Idraulica Naturale NHL5: Scheda Tecnica*. Bologna: La Banca della Calce.  
<https://www.bancadellacalce.it/bdc/wp-content/uploads/2021/09/scheda-tecnica-calce-idraulica-naturale-nhl-5.pdf>
- Baubook. n.d. "Baubook: Deklarationzentrale". Приступљено Приступљено 11. фебруар 2023.  
<https://www.baubook.at/zentrale/>
- Barclay, Michael, Neal Holcroft, and Andy Shea. 2014. "Methods to determine whole building hygrothermal performance of hemp-lime buildings." *Building and Environment* 80 204-212.  
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.06.003>
- Barlaz, Morton. 1998. "Carbon storage during biodegradation of municipal solid waste components in laboratory-scale landfills." *Global Biogeochemical Cycles* 12(2):373-380. <https://doi.org/10.1029/98GB00350>
- Benfratello, Salvatore, Cinzia Capitano, Giorgia Peri, Gianfranco Rizzo, Gianluca Scaccione, and Gianfranco Sorrentino. 2013. "Thermal and structural properties of a hemp–lime biocomposite." *Construction and Building Materials* 48 745-754. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.07.096>
- Berge, Bjorn. 2009. *The Ecology of Building Materials*. Oxford: Elsevier Architectural Press.
- Bevan, Rachel, and Tom Woolley. 2008. *Hemp Lime Construction: A guide to building with hemp-lime composites*. Bracknell: IHS BRE Press.
- Biolek, Vojtěch and Tomáš Hanák. 2019. "LCC Estimation Model: A Construction Material Perspective". *Buildings* 9(8): 182. <https://doi.org/10.3390/buildings9080182>
- BRE. 2008. *BRE Global Methodology for Environmental Profiles of Construction Products*. SD6050. Watford: Building Research Establishment.  
[https://www.bre.co.uk/filelibrary/greenguide/PDF/Methodology\\_for\\_Environmental\\_Profiles\\_2008\\_SD6050.pdf](https://www.bre.co.uk/filelibrary/greenguide/PDF/Methodology_for_Environmental_Profiles_2008_SD6050.pdf)
- BRE. 2014. *BRE Global Product Category Rules for Type III environmental product declaration of construction products to EN 15804:2012+A1:2013*. PN514. Watford: Building Research Establishment.  
<https://www.bre.co.uk/filelibrary/Materials/BRE-EN-15804-PCR-PN514.rev-0.1.pdf>
- British Standards Institute (BSI). 2011. *PAS 2050: 2011 - Specification for the Assessment of the Life Cycle Greenhouse Emissions of Goods and Services*. London: British Standards Institute.
- Boutin, Marie-Pierr, Cyril Flamin, Samuel Quinton, and Ghislain Gosse. 2006. *Etude des caracteristiques environnementales du chanvre par l'analyse de son cycle de vie*. Paris: Ministere de l'agriculture et de la peche.  
[https://www.interchanvre.org/documents/5.actu\\_presse/documents\\_de\\_reference/2006\\_ACV%20chanvre.pdf](https://www.interchanvre.org/documents/5.actu_presse/documents_de_reference/2006_ACV%20chanvre.pdf)
- Boutin, Marie-Pierre, and Cyril Flamin. 2013. "Examination of the Environmental Characteristics of a Banked Hempcrete Wall on a Wooden Skeleton, by Lifecycle Analysis: Feedback on the LCA Experiment from

- 2005." In *Bio-aggregate-based Building Materials: Application to Hemp Concretes*, edited by Sofiane Amziane and Laurent Arnaud, 289-311. London: ISTE and John Wiley & Sons.
- Brazdauskas, Prans, Ramunas Tupciauskas, Martins Andzs, Janis Rizhikovs, Maris Puke, Aigars Paze, Kristine Meile and Nikolajs Vedernikovs. 2015. "Preliminary study of the biorefinery to obtain furfural and binder-less panels from hemp (*Cannabis Sativa* L.) shives." *Energy Procedia* 72: 34-41.  
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.06.006>
- Brzyski, Przemyslaw, Mateusz Gładdecki, Monika Ruminska, Karol Pietrak, Michał Kubis and Piotr Łapka. 2020. "Influence of Hemp Shives Size on Hygro-Thermal and Mechanical Properties of a Hemp-Lime Composite". *Materials* 13: 5383. <https://doi:10.3390/ma13235383>
- Bryce, Katy and Adam Weismann. 2015. *Clay and Lime Renders, Plasters and Paints: A how-to guide to using natural finishes*. Cambridge: Green Books
- Candelier, Kévin, Marie-France Thevenon, Anélie Petrisans, Stéphane Dumarcay, Philippe Gerardin and Mathieu Petrisans. "Control of wood thermal treatment and its effects on decay resistance: a review." *Annals of Forest Science* 73: 571-583. <https://doi.org/10.1007/s13595-016-0541-x>
- Centre for Alternative Technology. n.d. "The WISE Building". Приступљено 1. март 2021.  
<https://cat.org.uk/info-resources/free-information-service/building/the-wise-building/>
- Cerezo, Veronique. 2005. "Propriétés mécaniques, thermiques et acoustiques d'un matériau à base de particules végétales: approche expérimentale et modélisation théorique". Doktorska disertacija, INSA Lyon: ENTPE.
- Chabannes, Morgan, Eric Garcia-Diaz, Laurent Clerc, and Jean-Charles Benezet. 2015. "Studying the hardening and mechanical performances of rice husk and hemp-based building materials cured under natural and accelerated carbonation." *Construction and Building Materials* 94 105-115.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.06.032>
- Chabannes, Morgan, Eric Garcia-Diaz, Laurent Clerc, and Jean-Charles Benezet. 2016. "Effect of curing conditions and Ca(OH)<sub>2</sub>-treated aggregates on mechanical properties of rice husk and hemp concretes using a lime-based binder." *Construction and Building Materials* 102: 821-833.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.206>
- Chastas, Panagiotis., Theodoros Theodosiou, Dimitrios Bikas and Karolos Kontoleon. 2017. "Embodied energy and nearly zero energy buildings: a review in residential buildings". *Procedia Environmental Sciences* 38: 554-561. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2017.03.123>
- CML Department of Industrial Ecology. 2016. "CML-IA Characterisation factors." *Universiteit Leiden*, 6 September 2016.  
<https://www.universiteitleiden.nl/en/research/research-output/science/cml-ia-characterisation-factors>
- Colinart, Thibaut, Patric Gloucanec, Thomas Pierre, Philippe Chauvelon and Anthony Magueresse. 2013. "Experimental Study on the Hygrothermal Behavior of a Coated Sprayed Hemp Concrete Wall." *Buildings* 3: 79-99. <https://doi.org/10.3390/buildings3010079>

- Colinart, Thibaut, Dylan Lelievre, and Patric Gloucanec. 2016. "Experimental and numerical analysis of the transient hygrothermal behavior of multilayered hemp concrete wall." *Energy and Buildings* 112: 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.11.027>
- Collet, Florence, Julien Chamoin, Sylvie Pretot and Christophe Lanos. 2013. "Comparison of the hygric behaviour of three hemp concretes." *Energy and Buildings* 62: 294-303. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.03.010>
- Collet, Florence, and Sylvie Pretot. 2012. "Experimental investigation of moisture buffering capacity of sprayed hemp concrete." *Construction and Building Materials* 36: 58-65. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.04.139>
- Collet, Florence, and Sylvie Pretot. 2014a. "Experimental highlight of hygrothermal phenomena in hemp concrete wall." *Building and Environment* 82: 459-466. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.09.018>
- Collet, Florence, and Sylvie Pretot. 2014b. "Thermal conductivity of hemp concretes: Variation with formulation, density and water content." *Construction and Building Materials* 65: 612-619. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.05.039>
- Conić, Igor. 2015. „Carmeuse u Srbiji: Gigant u proizvodnji Kreča otvorio predstavništvo u Beogradu.“ *Gradnja*, 24 Avgust 2015. <https://www.gradnja.rs/carmeuse-u-srbiji-gigant-u-proizvodnji-kreca-otvorio-predstavnistvo-u-beogradu/>
- De Beus, Niels and Stephan Piotrowski. 2017. *Multihemp - Multipurpose hemp for industrial byproducts and biomass: D7.3 Final report on integrated sustainability assessment*. Ref n. 311849. Hürth: Nova Institute for Ecology and Innovation. [http://multihemp.eu/media/2018/07/Deliverable\\_report\\_final\\_D7.3.pdf](http://multihemp.eu/media/2018/07/Deliverable_report_final_D7.3.pdf)
- Despotou, Eleni, Aurela Shtiza, Thomas Schlegel and Frederik Verhelst, 2016. "Literature study on the rate and mechanism of carbonation of lime in mortars." *Mauerwerk* 20: 124-137. <https://doi.org/10.1002/dama.201500674>
- Dhakal, Ujwal, Umberto Berardi, Mark Gorgolewski, and Russell Richman. 2017. "Hygrothermal performance of hempcrete for Ontario (Canada) buildings." *Journal of Cleaner Production* 142: 3655-3664.
- Diakité, Maya-Sétan, Hélène Lenormand, Vincent Lequart, Santiago Arufe, Patrick Martin and Nathalie Leblanc. 2021. "Cell Wall Composition of Hemp Shiv Determined by Physical and Chemical Approaches." *Molecules* 26: 6334. <https://doi.org/10.3390/molecules26216334>
- Dinh, The Manh, Camille Magniont, Marie Coutand and Gilles Escadeillas. 2015. "Hemp concrete using innovative pozzolanic binder". in *1<sup>st</sup> International Conference on Bio-based building materials, Clermond-Ferrand, 2015*, 265-270. <https://doi.org/10.26168/icbbm2015.40>
- Diquelou, Youen, Etienne Gourlay, Laurent Arnaud, and Bernard Kurek. 2015. "Impact of hemp shiv on cement setting and hardening: Influence of the extracted components from the aggregates and study of the interfaces with the inorganic matrix." *Cement & Concrete Composites* 55: 112-121. <http://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2014.09.004>
- Diquelou, Youen, Etienne Gourlay, Laurent Arnaud, and Bernard Kurek. 2016. "Influence of binder characteristics on the setting and hardening of hemp lightweight concrete." *Construction and Building Materials* 112: 506-517. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.138>



- Dones, Roberto, Christian Bauer and Alexander Röde. 2007. "Teil VI Kohle. Final report ecoinvent no. 6-VI." In *Sachbilanzen von Energiesystemen*, edited by Dones, Roberto et al. Dübendorf: Paul Scherrer Institut Villigen and Swiss Centre for Life Cycle Inventories.
- DuPont de Nemours. 2016. Environmental Product Declaration: DuPont™ Tyvek® 2524B. Berlin: Institut Bauen & Umwelt. <https://www.bpindex.co.uk/res/pdfs/b62fcc010178e3.pdf>
- Ecoinvent. 2021. "Ecoinvent database 3.8." Pristupljeno 12 Novembar 2021. <https://v38.ecoquery.ecoinvent.org/Home/Index>
- Ecoinvent. 2022. "System models." Pristupljeno 15 Mart 2023. <https://ecoinvent.org/the-ecoinvent-database/system-models/>
- Eco Platform. 2023. "Welcome to Eco platform." Pristupljeno 23 Mart 2023. <https://www.eco-platform.org/home.html>
- Ekvall, Tomas. 2020. "Attributional and Consequential Life Cycle Assessment." In *Sustainability Assessment at the 21st century*, edited by Maria José Bastante-Ceca, Jose Luis Fuentes-Bargues, Levente Hufnagel, Florin-Constantin Mihai & Corneliu Iatu, 41-62. London: IntechOpen.
- Faist-Emmenegger, Mireille, Thomas Heck and Niels Jungbluth. 2007. "Teil V Kohle. Final report ecoinvent no. 6-V." In *Sachbilanzen von Energiesystemen*, edited by Dones, Roberto et al. Dübendorf: Paul Scherrer Institut Villigen and Swiss Centre for Life Cycle Inventories.
- EPD International. n.d. "The International EPD System: Library". Pristupljeno 11 Februar 2023. <https://www.environdec.com/library>
- EPD Italy. n.d. "EPD Italy: Published EPDs". Pristupljeno 12. Februar 2021. <https://www.epditaly.it/en/view-view-epd/>
- EPD-Norge. n.d. "EPD-Norge Digi". Pristupljeno 11. Februar 2023. <https://www.epd-norge.no/building-materials/category417.html>
- Erans, María, Seyed Ali Nabavi & Vasilije Manović. 2020. "Carbonation of lime-based materials under ambient conditions for direct air capture." *Journal of Cleaner Production* 242: 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118330>
- Escadeillas, Gilles, Camille Magniont, Sofiane Amziane and Vincent Nozahic. 2013. "Binders." In *Bio-aggregate-based Building Materials: Application to Hemp Concretes*, edited by Sofiane Amziane and Laurent Arnaud, 75-115. London: ISTE and John Wiley & Sons.
- European Committee for Standardization (CEN). 2011. *EN 197-1 – Cement - Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for common cements*. European Standard. Geneva: European Committee for Standardization
- European Committee for Standardization (CEN). 2011. *EN 197-1 – Cement - Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for common cements*. European Standard. Geneva: European Committee for Standardization

- European Committee for Standardization (CEN). 2013. *EN 15804:2012+A1:2013– Sustainability of construction works - Environmental Product Declarations*. European Standard. Geneva: European Committee for Standardization
- European Committee for Standardization (CEN). 2015. *EN 459-1 – Building lime - Part 1: Definitions, specifications and conformity criteria*. European Standard. Geneva: European Committee for Standardization
- European Committee for Standardization (CEN). 2015. *EN 1364-1 – Fire resistance tests for non-loadbearing elements – Part 1: Walls*. European Standard. Geneva: European Committee for Standardization
- European Committee for Standardization (CEN). 2018. *EN 13501-1 – Fire classification of construction products and building elements – Part 1: Classification using data from reaction to fire tests*. European Standard. Geneva: European Committee for Standardization
- European Committee for Standardization (CEN). 2019. *EN 15804:2012+A2:2019 – Sustainability of construction works - Environmental Product Declarations*. European Standard. Geneva: European Committee for Standardization
- European Committee for Standardization (CEN). 2022. *EN 16757 – Sustainability of construction works – Environmental product declarations – Product category rules for concrete and concrete elements*. European Standard. Geneva: European Committee for Standardization
- European Commission. 2018. *PEFCR Guidance document - Guidance for the development of Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCRs) - version 6.3*. Luxembourg: European Commission. [https://eplca.jrc.ec.europa.eu/permalink/PEFCR\\_guidance\\_v6.3-2.pdf](https://eplca.jrc.ec.europa.eu/permalink/PEFCR_guidance_v6.3-2.pdf)
- EUMEPS, European Manufacturers of Expanded Polystyrene. 2017. *Environmental Product Declaration: Expanded Polystyrene (EPS) Foam Insulation (density 15 kg/m<sup>3</sup>)*. Berlin: Institut Bauen & Umwelt. <https://eumeps.construction/content/8-downloads/2-epds-for-eps/expanded-polystyrene-eps-foam-insulation-density-15-kgm.pdf>
- Eurostat. 2022. “Road freight transport by journey characteristics.” Pristupljeno 21 Novembar 2022. [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Road\\_freight\\_transport\\_by\\_journey\\_characteristics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Road_freight_transport_by_journey_characteristics)
- Eurostat. 2023. “Recovery rate of construction and demolition waste.” Pristupljeno 21 Novembar 2022. [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/cei\\_wm040/default/table?lang=en](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/cei_wm040/default/table?lang=en)
- EVEA (Construire en Chanvre). 2018. *Fiche de declaration environnementale et sanitaire – 1m<sup>3</sup> de beton de chanvre pour remplissage et isolation de mur ou cloison*. Paris: Inies - Catalogue de la base. <https://www.base-inies.fr/iniesV4/dist/consultation.html?id=9113>
- Evrard, Arnaud. 2008. “Transient hygrothermal behaviour of Lime-Hemp Materials”. Докторска дисертација, Universite Catholique de Louvain.
- Evrard, Arnaud, and Andre de Herde. 2005. "Bioclimatic envelopes made of hemp concrete". Paper presented at CISBAT 2005 - Renewables in a Changing Climate - Innovation in Building Envelopes and Environmental Systems", Lausanne: EPFL. <http://hdl.handle.net/2078.1/73818>

- Evrard, Arnaud, and Andre De Herde. 2010. "Hygrothermal Performance of lime-hemp wall assemblies." *Journal of Building Physics* 34 5-25. <https://doi.org/10.1177/1744259109355730>
- FCBA. 2012. *Convention DHUP CSTB 2009 Action 33 sous-action 6 – ACV & DEP pour des produits et composants de la construction bois – Volet 2 Prise en compte de la fin de vie des produits bois*. Paris: FCBA  
<https://www.codifab.fr/uploads/media/61b09e54caca2/acv-fdes-construction-bois-volet-2-3-modelisation-acv-et-calculs-dimpacts-20121214.pdf>
- Figueiredo, Cristiano, Richard Ball and Mike Lawrence. 2016. "Is BS EN 459-1:2015 fit for purpose in the context of conservation?" *The Journal of the Building Limes Forum* 23: 46-52. ISSN 1479-6902
- Finnveden, Göran, Michael Z. Hauschild, Tomas Ekvall, Jeroen Guinée J, Reinout Heijungs, Stefanie Hellweg, Annette Koehler, David Pennington and Sangwon Suh. 2009. "Recent developments in life cycle assessment". *Journal of Environmental Management* 91(1): 1-21. <https://doi.org/j.jenvman.2009.06.018>
- Florentin, Yaakov, David Pearlmutter, B Givoni, and Erez Gal. 2017. "A life-cycle energy and carbon analysis of hemp-lime bio-composite building materials." *Energy and Buildings* 156: 293-305.  
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.09.097>
- Forster, Alan. 2004. *How hydraulic lime binders work: Hydraulicity for beginners and the hydraulic lime family*. Edinburgh: Scottish Lime Centre Trust.  
[https://www.scotlime.org/documents/14/How\\_hydraulic\\_lime\\_binders\\_work.pdf](https://www.scotlime.org/documents/14/How_hydraulic_lime_binders_work.pdf)
- Forster, Alan, Jan Válek, John J. Hughes and Nick Pilcher. 2020. "Lime binders for the repair of historic buildings: Considerations for CO<sub>2</sub> abatement." *Journal of Cleaner Production* 252: 119802.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119802>
- Gojkov, Stevan. 2022. "Konobeton: Kako se grade kuće od konoplje." *Gradnja*, 2 Jun 2022.  
<https://www.gradnja.rs/konobeton-konoplja-kuce/>
- Gómez, R. Dario, John D. Watterson, Branca B. Americano, Chia Ha, Gregg Marland, Emmanuel Matsika, Lemmy Nenge Namayanga, Balgis Osman-Elasha, John D. Kalenga Saka and Karen Treanton. 2006. "Chapter 2: Stationary Combustion." In *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – Volume 2: Energy*, edited by: Simon Eggleston, Leandro Buendia, Kyoko Miwa, Todd Ngara and Kiyoto Tanabe, 2.1-2.47. Hayama: IGES.  
[https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2\\_Volume2/V2\\_2\\_Ch2\\_Stationary\\_Combustion.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2_Volume2/V2_2_Ch2_Stationary_Combustion.pdf)
- Gourlay, Etienne, Philippe Glé, Sandrine Marceau, Cédric Foy, Sandrine Moscardelli. 2017. "Effect of water content on the acoustical and thermal properties of hemp concretes". *Construction and Building Materials* 139: 513-523. <https://doi.org/10.26168/icbbm2017.56>
- Gross, Christopher, and Pete Walker. 2014. "Racking performance of timber studwork and hemp-lime walling." *Construction and building materials* 66: 429-435.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.05.054>

- Harrison, Thomas, Martyn Roderick Jones and David Lawrence. 2019. "The production of low energy cements". In *Lea's concrete and cement chemistry*, edited by Peter C. Hewlett and Martin Liska, 341-361. Oxford: Elsevier and Butterworth Heinemann.
- Hempitecture. 2020. "In US, Hempcrete isn't fireproof..." *Hempitecture*, 21 Februar 2020.  
<https://www.hempitecture.com/post/in-us-hempcrete-isn-t-fireproof>
- Hirst, Edward. 2013. "Characterisation of hemp-lime as a composite building material". Докторска дисертација, University of Bath.
- HM Government. 2023. Conservation of fuel and power: Approved document L. London: HM Government.  
[https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/1133079/Approved\\_Document\\_L\\_Conservation\\_of\\_fuel\\_and\\_power\\_Volume\\_1\\_Dwellings\\_2021\\_edition\\_incorporating\\_2023\\_amendments.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1133079/Approved_Document_L_Conservation_of_fuel_and_power_Volume_1_Dwellings_2021_edition_incorporating_2023_amendments.pdf)
- IEA, International Energy Agency. 2018. Statistics: Coal Information 2018. Paris: International Energy Agency.  
<https://doi.org/10.1787/coal-2018-en>
- Inies. n.d."Inies: Catalogue de la base". Pristupljeno 12 Mart 2019.  
<https://www.base-inies.fr/iniesV4/dist/consultation.html>
- Ingrao, Carlo, Agata Lo Giudice, Jacopo Bacenetti, Caterina Tricase, Giovanni Dotelli, Marco Fiala, Valentina Siracusa and Charles Mbohwa. 2015. "Energy and environmental assessment of industrial hemp for building applications: A review". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51(1): 29-42.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.06.002>
- Institut Bauen & Umwelt. n.d. "Published EPDs." Pristupljeno 22 Novembar 2022.  
<https://ibu-epd.com/en/published-epds/>
- Institut za Ratarstvo i Povrtarstvo Novi Sad (NsSeme). n.d. "Proizvodnja industrijske konoplje." Pristupljeno 12 Februar 2023.  
<https://nsseme.com/aktuelno/saveti-strucnjaka/proizvodnja-industrijske-konoplje/>
- International Organization for Standardization. 2006c. *ISO 14025:2006 – Environmental labels and declarations – Type III environmental declarations – Principles and procedures*. International standard, Geneva: International Organization for Standardization.
- International Organization for Standardization. 2006a. *ISO 14040:2006 - Environmental Management-Life cycle assessment - Principles and framework*. International standard, Geneva: International Organization for Standardization.
- International Organization for Standardization. 2006b. *ISO 14044:2006 - Environmental management - Lifecycle assessment-Requirements and guidelines*. International Standard, Geneva: International Organization for Standardization.
- Ip, Kenneth, and Andrew Miller. 2012. "Life cycle greenhouse gas emissions of hemp–lime wall constructions in the UK." *Resources, Conservation and Recycling* 69: 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.09.001>
- Isohemp. 2021a. *Applications guide: Hemp blocks*. Fernelmont: Isohemp.  
[https://www.iso hemp.com/sites/default/files/fichiers/iso hemp\\_applicationsguide\\_en.pdf](https://www.iso hemp.com/sites/default/files/fichiers/iso hemp_applicationsguide_en.pdf)

- Isohemp. 2021b. Isohemp Implementation Guide. Fernelmont: Isohemp.  
[https://www.iso hemp.com/sites/default/files/fichiers/iso hemp\\_installation\\_en.pdf](https://www.iso hemp.com/sites/default/files/fichiers/iso hemp_installation_en.pdf)
- Isohemp. 2022. *Hemp blocks: Catalogue 2022*. Fernelmont: Isohemp.  
[https://www.iso hemp.com/sites/default/files/fichiers/ih\\_catalogue2022\\_uk\\_web.pdf](https://www.iso hemp.com/sites/default/files/fichiers/ih_catalogue2022_uk_web.pdf)
- Isohemp. n.d. "What is the lifespan of a block?" Pristupljeno 12 Februar 2023.  
<https://www.iso hemp.com/en/what-lifespan-block>
- IVH, Industrieverband Hartschaum e.V. 2022. *Umwelt-Produktdeklaration: EPSHartschaum – weiß mit niedriger Rohdichte vorzugsweise für WDVS und Innendämmung*. Berlin: Institut Bauen & Umwelt.  
[https://www.ivh.de/wp-content/uploads/EPS-weiss\\_15kgm\\_WDVS\\_Innen\\_EN15804A2.pdf](https://www.ivh.de/wp-content/uploads/EPS-weiss_15kgm_WDVS_Innen_EN15804A2.pdf)
- Kellenberger, Daniel, Hans-Jörg Althaus, Niels Jungbluth, Tina Künniger, Martin Lehmann and Philipp Thalmann. 2007. *Life Cycle Inventories of Building Products*. Final report ecoinvent v2.0 No.7. Dübendorf.: EMPA Dübendorf and Swiss Centre for Life Cycle Inventories.
- Kellenberger, Daniel and Hans-Jörg Althaus. 2009. "Relevance of simplifications in LCA building components." *Building and Environment* 44: 818-825. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.06.002>
- Kirchherr, Julian, Denise Reike and Marko Hekkert. 2017. "Conceptualizing the Circular Economy: An analysis of 114 definitions". *Resources, Conservation & Recycling* 127: 221-232.  
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>
- Kinnane, Oliver, Gavin McGranaghan, Rosanne Walker, Sara Pavia, Gerry Byrne, and Anthony Robinson. 2015. "Experimental investigation of thermal inertia properties in hemp-lime concrete walls." 10th Conference on Advanced Building Skins, Bern, 2015, 942-949. Bern: Economic Forum.
- Knauf. 2012. Knaufterm 2 Pro – Srbija. <https://www.knaufinsulation.rs/knaufterm-2-pro-srbija>
- Kuzmić, Julijana. 2022. "Industrijska konoplja: Srpska regulative u suprotnosti sa svetskom?" *Agroklub*, 14 Jun 2022.  
<https://www.agroklub.rs/poljoprivredne-vesti/industrijska-konoplja-srpska-regulativa-u-suprotnosti-sa-svetskom/77846/>
- Lagerblad, Björn. 2006. *Carbon Dioxide Uptake during Concrete Life Cycle - State of the Art*. CBI Report 2:2005. Stockholm: Swedish Cement and Concrete Research Institute (CBI).  
[http://www.dti.dk/\\_root/media/21043\\_769417\\_Task%201\\_final%20report\\_CBI\\_Bjorn%20Lagerblad.pdf](http://www.dti.dk/_root/media/21043_769417_Task%201_final%20report_CBI_Bjorn%20Lagerblad.pdf)
- Lanos, Christophe. 2017. "Bio-aggregate Based Building Materials Exposed to Fire." In *Bio-aggregate Based Building Materials*, edited by Sofiane Amziane and Florence Collet, 149-165. Dordrecht: Springer.
- Lanos, Christophe, Florence Collet, Gerard Lenain and Yves Hustache. 2013. "Formulation and Implementation." In *Bio-aggregate-based Building Materials: Application to Hemp Concretes*, edited by Sofiane Amziane and Laurent Arnaud, 75-115. London: ISTE and John Wiley & Sons.
- Latif, Eshrar, Simon Tucker, Mihaela Anca Ciupala, Devapriya Chitral Wijeyesekera and Darryl Newport. 2014. "Hygic Properties of Hemp Bio-Insulations with Differing Compositions". *Construction and Building Materials* 66: 702-711. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.06.021>

- Latif, Eshrar, Mike Lawrence, Andy Shea, and Pete Walker. 2015. "Moisture buffer potential of experimental wall assemblies incorporating formulated hemp-lime." *Building and Environment* 93: 199-209.  
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.07.011>
- Lawrence, Michael. 2006. "A study of carbonation in non-hydraulic lime mortars". Doktorska disertacija, University of Bath.
- Lawrence, Mike, and Yunhong Jiang. 2017. "Porosity, Pore Size Distribution, Micro-structure." In *Bio-aggregate Based Building Materials*, edited by Sofiane Amziane and Florence Collet, 125-148. Dordrecht: Springer.
- Lecompte, Thibaut, Anne Levasseur and Dominique Maxime. 2017. "Lime and hemp concrete LCA: A dynamic approach of CO<sub>2</sub> emissions and capture." In *2<sup>nd</sup> International Conference on Bio-based building materials, Clermond-Ferrand, 2017*, 533-541. <https://doi.org/10.26168/icbbm2017.78>
- Léonard, Angélique and Sylvie Gros Lambert (Isohemp). 2017. *Isohemp hempcrete blocks – Life Cycle Assessment EN 15804+A1 (2014) Project Report*. Liège: Liège Université.  
[https://static1.squarespace.com/static/5ad125e089c172a00f0bd92e/t/5bc871cce2c48391cbfca1c9/1539863003557/hempbuild\\_Isohemp\\_EPD.pdf](https://static1.squarespace.com/static/5ad125e089c172a00f0bd92e/t/5bc871cce2c48391cbfca1c9/1539863003557/hempbuild_Isohemp_EPD.pdf)
- Léonard, Angélique and Sylvie Gros Lambert (Isohemp). 2021. *Declaration environnementale de produit: ISOHEMP PAL36 - Bloc de béton de chanvre*. Brussels: B-EPD.  
[https://www.iso hemp.com/sites/default/files/fichiers/b-epd\\_21-0078-001-00-00-fr\\_iso hemp\\_pal36\\_signed.pdf](https://www.iso hemp.com/sites/default/files/fichiers/b-epd_21-0078-001-00-00-fr_iso hemp_pal36_signed.pdf)
- Lynch, Gerard. 2007. "The Myth in the Mix: The 1:3 ratio of lime to sand." Building conservation. Pristupljeno 7 April 2020. <https://www.buildingconservation.com/articles/mythmix/mythmix.htm>
- Maalouf, C, A.D Tran Le, S.B Umuririrwa, M Lachi, and O Douzane. 2014. "Study of hygrothermal behaviour of a hemp concrete building envelope under summer conditions in France." *Energy and Buildings* 77: 48-57.  
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.03.040>
- Maerz Ofenbau. n.d. "Your benefits." Pristupljeno 20 April 2021  
<https://www.maerz.com/portfolio/your-benefits>
- Maerz Ofenbau. 2019. "Recent projects by Maerz Ofenbau." ZKG. Pristupljeno 20 April 2020.  
[https://www.zkg.de/en/artikel/zkg\\_Recent\\_projects\\_by\\_Maerz\\_Ofenbau-3468963.html](https://www.zkg.de/en/artikel/zkg_Recent_projects_by_Maerz_Ofenbau-3468963.html)
- Magniont, Camille, and Gilles Escadeillas. 2017. "Chemical Composition of Bio-aggregates and Their Interactions with Mineral Binders." In *Bio-aggregate Based Building Materials*, edited by Sofiane Amziane and Florence Collet, 1-37. Dordrecht: Springer.
- Mapei. 2018. *Environmental Product Declaration: Mapetherm ARI, Mapetherm ARI GG, Mapetherm ARI Light*. Stockholm: The International EPD System. Pristupljeno 20 April 2020.  
<https://api.environdec.com/api/v1/EPDLibrary/Files/4a54f3aa-2d87-4bfa-b1d8-33e39f2a0d5f/Data>
- Mapei. 2019. *Environmental Product Declaration: Quarzolite Base Coat, Quarzolite Pittura, Quarzolite HF Plus, Quarzolite Tonachino, Quarzolite Tonachino Plus*. Stockholm: The International EPD System.  
<https://api.environdec.com/api/v1/EPDLibrary/Files/dc1a867e-0907-404c-bf01-2639f043cffd/Data>

- Marceau, Sandrine, Philippe Glé, Marielle Guéguen-Minerbe, Etienne Gourlay, Sandrine Moscardelli, Issam Nour and Sofiane Amziane, 2017. "Influence of accelerated aging on the properties of hemp concretes". *Construction and Building Materials* 139: 524-530. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.11.129>
- Marrot, Laetitia, Kevin Candelier, Jérémy Valette, Charline Lanvin, Barbara Horvat, Lea Legan and David B. DeVallance. 2022. "Valorization of Hemp Stalk Waste Through Thermochemical Conversion for Energy and Electrical Applications." *Waste and Biomass Valorization* 13: 2267-2285. <https://doi.org/10.1007/s12649-021-01640-6>
- Martínez-Rocamora, Alejandro, Jaime Solís-Guzmán and Madelyn Marrero. 2016. "LCA databases focused on construction materials: A review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 58: 565-573. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.243>
- Mayer, Peter. "2008. Whole life costing – Timber cladding." Greenspec. Pristupljeno 26 April 2022 <https://www.greenspec.co.uk/building-design/timber-cladding/>
- Micales, Jessie and Kenneth Skog. 1997. "The decomposition of forest products in landfills." *International Biodeterioration and Biodegradation* 39(2-3): 145-158. [https://doi.org/10.1016/S0964-8305\(97\)83389-6](https://doi.org/10.1016/S0964-8305(97)83389-6)
- Mineral Products Association. 2011. Guidance to prevent over-pressurisation of storage silos during the delivery of (non-explosive) powder in the cement, concrete and quarrying industries. Camberley: Mineral Products Association. <https://www.safequarry.com/hotTopics/Silo%20Overpressurisation%20MPA%20Guide%202011.pdf>
- Ministarstvo poljoprivrede i zaštite životne sredine Republike Srbije. 2023. "Registar priznatih sorti". *Odeljenje za priznavanje sorti*. Pristupljeno 20. Mart 2023. <https://sorte.minpolj.gov.rs/sites/default/files/Registar%20%20sorti%208.3.2023..pdf>
- Mitrović, Aleksandra, Miroslav Komljenović i Biljana Ilić. 2009. "Ispitivanja mogućnosti korišćenja domaćih kaolinskih glina za proizvodnju metakaolina". *Hemijska industrija* 63(2): 107-113. <https://doi.org/10.2298/HEMIND0902107M>
- Mongiovi, Chiara ,Dario Lacalamita, Nadia Morin-Crini, Xavier Gabrion, Aleksandra Ivanovska, Federico Sala, Vincent Placet, Vito Rizzi, Jennifer Gubitosa, Ernesto Mesto, Ana Rita Lado Ribeiro, Paola Fini, Nicoletta De Vietro, Emanuela Schingaro, Mirjana Kostić, Cesare Cosentino, Pinalysa Cosma, Corina Bradu, Gilles Chanet and Grégorio Crini. 2021. "Use of Chènevotte, a Valuable Co-Product of Industrial Hemp Fiber, as Adsorbent for Pollutant Removal. Part I: Chemical, Microscopic, Spectroscopic and Thermogravimetric Characterization of Raw and Modified Samples." *Molecules* 26: 4574. <https://doi.org/10.3390/molecules26154574>
- Moujalled, Bassam, Yacine Aït Oumeziane, Sophie Moissette, Marjorie Bart Christophe Lanos and Driss Samri. 2018. "Experimental and numerical evaluation of the hygrothermal performance of a hemp lime concrete building: A long term case study". *Building and Environment* 136: 11-27. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.03.025>
- Mundy, Jo. 2015. *The Green Guide Explained*. Watford: BRE. [https://www.bre.co.uk/filelibrary/greenguide/PDF/The-Green-Guide-Explained\\_March2015.pdf](https://www.bre.co.uk/filelibrary/greenguide/PDF/The-Green-Guide-Explained_March2015.pdf)

- Nationale Milieu Database. 2022. *Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken*. Rijswijk: Nationale Milieu Database. <https://milieudatabase.nl/nl/downloads-nmd/downloads-bepalingsmethode/>
- Navrátilová, Eva and Pavla Rovnanílková. 2016. "Pozzolanic activity of brick powders and their effect on the properties of modified lime mortars." *Construction and Building Materials* 120:530-539  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.062>
- Nemecek, Thomas and Thomas Kägi. 2007. *Life Cycle Inventories of Swiss and European Agricultural Production Systems*. Final report ecoinvent v2.0 No.15a. Zurich and Dübendorf.: Agroscope Reckenholz Research Station ART and Swiss Centre for Life Cycle Inventories.
- Nigos. n. d. „Kondenzacione i kombinovane sušare za drvo.“ Pristupljeno 5 April 2021.  
[https://www.nigos.rs/kondenzacione\\_susare\\_za\\_drvo.html](https://www.nigos.rs/kondenzacione_susare_za_drvo.html)
- Niyigena, César, Sofiane Amziane and Alaa Chateaneuf. 2018. "Multicriteria analysis demonstrating the impact of shiv on the properties of hemp concrete." *Construction and Building Materials* 160: 211-222.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.11.026>
- Nozahic, Vincent. 2013. "Vers une nouvelle démarche de conception des bétons de végétaux lignocellulosiques basée sur la compréhension et l'amélioration de l'interface liant / végétal: application à des granulats de chenevotte et de tige de tournesol associés à un liant ponce / chaux". Doktorska disertacija, Université Blaise Pascal, Clermont Ferrand II.
- Nordby, Anne Sigrid, and Andrew David Shea. 2013 . "Building Materials in the Operational Phase: Impacts of Direct Carbon Exchanges and Hygrothermal Effects." *Journal of Industrial Ecology* 17: 763-776.  
<https://doi.org/10.1111/jiec.12046>
- Oates, Joseph. 1998. *Lime and Limestone: Chemistry and technology, production and uses*. Weinheim: Wiley-Vch.
- Obuka, Vaira, Maris Sinka, Vizma Nikolajeva, Solvita Kostjukova, Ruta Ozola-Davidane and Maris Klavins. 2021. "Microbiological Stability of Bio-Based Building Materials." *Journal of Ecological Engineering* 22(4): 296-313. <https://doi.org/10.12911/22998993/134033>
- One click LCA. n.d. "Getting ready for EN 15804+A2." Pristupljeno 1. Mart 2021.  
<https://www.oneclicklca.com/getting-ready-for-en-15804-a2-whats-changed-and-how-to-prepare-for-it/>
- Oonk, Hans. 2012. "Efficiency of landfill gas collection for methane emission reduction." *Greenhouse Gas Measurement and Management* 2(2-3): 129-145. <https://doi.org/10.1080/20430779.2012.730798>
- Oumeziane, Yacine Aït, Marjorie Bart, Sophie Moissette, and Christophe Lanos. 2014. "Hysteretic Behaviour and Moisture Buffering of Hemp Concrete". *Transport in Porous Media* 103: 515-533  
<https://doi.org/10.1007/s11242-014-0314-7>
- Oumeziane, Yacine Aït, Sophie Moissette, Marjorie Bart and Christophe Lanos. 2016. "Influence of temperature on sorption process in hemp concrete". *Construction and Building Materials* 106: 600-607.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.117>
- Picandet, Vincent. 2017. "Bulk Density and Compressibility." In *Bio-aggregate Based Building Materials*, edited by Sofiane Amziane and Florence Collet, 111-124. Dordrecht: Springer.



- Pierre, Thomas, Thibaut Colinart and Patrick Gloucanec. 2014. "Measurement of Thermal Properties of Biosourced Building Materials". *International Journal of Thermophysics* 35: 1832-1852. <https://doi.org/10.1007/s10765-013-1477-0>
- Piot, Amandine, Timea Béjat, Arnaud Jay, Laetitia Bessette, Etienne Wurtz and Laury Barnes-Davin. 2017. "Study of a hempcrete wall exposed to outdoor climate: Effects of the coating". *Construction and Building Materials* 139: 540-550. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.143>
- Pipatti, Riitta, Per Svardal, Joao Wagner Silva Alves, Qingxian Gao, Carlos López Cabrera, Katarina Mareckova , Hans Oonk, Elizabeth Scheehle, Chhemendra Sharma, Alison Smith and Masato Yamada (IPCC). 2006. "Chapter 3: Solid Waste Disposal." In *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – Volume 5: Waste*, edited by: Simon Eggleston, Leandro Buendia, Kyoko Miwa, Todd Ngara and Kiyoto Tanabe, 3.1-3.40. Hayama: IGES. [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/5\\_Volume5/V5\\_3\\_Ch3\\_SWDS.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/5_Volume5/V5_3_Ch3_SWDS.pdf)
- Pretot, Sylvie, Florence Collet, and Charles Garnier. 2014. "Life cycle assessment of a hemp concrete wall: Impact of thickness and coating." *Building and Environment* 72: 223-231. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.11.010>
- Pritchett, Ian, Arnaud Evrard, and Ian Mawditt. 2008. "Scientific issues related to hemp lime." In *Hemp Lime Construction: A guide to building with hemp lime composites*, by Rachel Bevan and Tom Woolley, 63-69. Bracknell: BRE Press.
- Rahim, Mourad, Omar Douzane, Anh Dung Tran Le, Geoffrey Promis, Boubker Ladoudi, A. Crigny, B. Dupré and Thierry Langlet. 2015. "Characterization of flax lime and hemp lime concretes: Hygric properties and moisture buffer capacity." *Energy and Buildings* 88: 91-99. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.11.043>
- Rahim, Mourad, Omar Douzane, Anh Dung Tran Le, Geoffrey Promis and Thierry Langlet. 2016. "Characterization and comparison of hygric properties of rape straw concrete and hemp concrete." *Construction and Building Materials* 102: 679-687 <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.11.021>
- RICS, Royal Institute of Chartered Surveyors. 2017. *Whole life carbon assessment for the built environment*. London: Royal Institute of Chartered Surveyors (RICS). <https://www.rics.org/profession-standards/rics-standards-and-guidance/sector-standards/building-surveying-standards/whole-life-carbon-assessment-for-the-built-environment>
- Rigips Saint Gobain. 2019. *Environmental Product Declaration: Rigips plasters*. Stockholm: The International EPD System. <https://api.environdec.com/api/v1/EPDLibrary/Files/26e3332e-f488-4ac2-a32d-2585b9472feb/Data>
- Rode, Carsten, Ruut Hannele Peuhkuri, Lone Hedegaard Mortensen, Kurt Kielsgaard Hansen, Berit Time, Arild Gustavsen, Tuomo Ojanen, Jarkko Ahonen, Kaisa Svennberg and Jesper Arfvidsson. 2005. *Moisture buffering of building materials*. BYG Report No. R-126. Technical University of Denmark. <https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/2415500/byg-r126.pdf>
- Sausserde, Rudite and Aleksandrs Adamovics. 2013. "Industrial hemp for biomass production." *Journal of Agricultural Engineering* 44: 619-622. <https://doi.org/10.4081/jae.2013.365>

- Schorcht, Frauke, Ioanna Kourti, Bianca Maria Scalet, Serge Roudier and Luis Delgado Sancho. 2013. *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Cement, Lime and Magnesium Oxide: Industrial Emissions Directive 2010/75/EU Integrated Pollution Prevention and control*. Report EUR 26129 EN. Luxembourg: European Commission Joint Research Centre.  
<https://data.europa.eu/doi/10.2788/12850>
- Sekulić, Nina. 2022. "Konobeton – energetska i zdrava gradnja." Grenef, 20 April 2022.  
<https://www.grenef.com/konobeton-energetski-efikasna-i-zdrava-gradnja/>
- Seng, Billy, Camille Magniont and Sylvie Lorente. 2019. "Characterization of a precast hemp concrete. Part I: Physical and Thermal Properties." *Journal of Building Engineering* 24: 100540.  
<https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2018.07.016>
- Shea, Andy, Mike Lawrence, and Pete Walker. 2012. "Hygrothermal performance of an experimental hemp–lime building." *Construction and Building Materials* 36: 270-275.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.04.123>
- Sié, Marion (VICAT). 2018. *Fiche de déclaration environnementale et sanitaire – Bloc de béton de chanvre BIOSYS®*. Paris: Inies - Catalogue de la base.  
<https://www.base-inies.fr/iniesV4/dist/consultation.html?id=27089>
- Sikora, Vladimir. 2016. "Praktični aspekti proizvodnje industrijske konoplje". Institut za ratarstvo i povrtarstvo Novi Sad. Pristupljeno 16 April 2021.  
<https://www.ifvcns.rs/wp-content/uploads/2016/03/5-Prakticni-aspekti-proizvodnje-industrijske-konoplje.pdf>
- Solution Biosys n.d. "Blocs à emboîtement." Pristupljeno 9 Mart 2023.  
<https://www.solution-biosys.fr/construire-en-biosource/nos-fibres/blocs-emboitement>
- Spiropolous, John. 1985. *Small scale production of lime for building*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag.  
[https://www.humanitarianlibrary.org/sites/default/files/2014/02/GATE\\_SmallScaleProductionLime.pdf](https://www.humanitarianlibrary.org/sites/default/files/2014/02/GATE_SmallScaleProductionLime.pdf)
- Srbijagas. n.d. "Petrošači: o prirodnom gasu." Pristupljeno 15 Mart 2021.  
[https://www.srbijagas.com/?page\\_id=1410](https://www.srbijagas.com/?page_id=1410)
- St. Astier. n.d.a. "Notre métier de Maître Chauffournier." Pristupljeno 1. Mart 2022.  
<https://www.saint-astier.com/notre-metier/>
- St. Astier. n.d.b. "Mineralogy & chemistry of raw materials and products." Pristupljeno 12 Februar 2023.  
<https://www.stastier.co.uk/mineralogy-chemistry-of-raw-materials-and-products/>
- St. Astier. n.d.c. "Mineralogy of binders & the effects of free lime content and cement addition in lime mortars." Pristupljeno 12 Februar 2023.  
<https://www.stastier.co.uk/mineralogy-of-binders-and-the-effects-of-free-lime-content-and-cement-addition-in-mortars/>
- Stanwix, William, and Alex Sparrow. 2014. *The Hempcrete Book: Designing and building with hemp-lime*. Cambridge: Green Books.

- Strandberg-de Bruijn, Paulien, Knut-Hakan Jeppson, Kenneth Sandin, and Christer Nilsson. 2009. "Mechanical properties of lime–hemp concrete containing shives and fibres." *Biosystems Engineering* 103(4): 474-479. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2009.02.005>
- Strandberg-de Bruijn, Paulien, and Peter Johansson. 2013. "Moisture fixation and thermal properties of lime–hemp concrete." *Construction and Building Materials* 47: 1235-1242. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.06.006>
- Strandberg-de Bruijn, Paulien, and Peter Johansson. 2014. "Moisture transport properties of lime-hemp concrete determined over the complete moisture range." *Biosystems Engineering* 122: 31-41. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2014.03.001>
- Tasovac Ranković, Jelena. 2022. "Koncept povratka prirodi: kako sagradati kuću od konoplje." *KućaStil*, 28 Maj 2022. <https://www.kucastil.rs/kuce/koncept-povratka-prirodi-kako-sagraditi-kucu-od-konoplje-video>
- Tecnocanapa. 2022. *Blocco Ambiente® Installation Manual*. Novagli di Montichiari: Senini. [http://tecnocanapa-bioedilizia.it/wp-content/uploads/2022/12/03-MANUALE-BLOCCO-AMBIENTE\\_EN\\_AGO22.pdf](http://tecnocanapa-bioedilizia.it/wp-content/uploads/2022/12/03-MANUALE-BLOCCO-AMBIENTE_EN_AGO22.pdf)
- Tradical. n.d. "About us." Приступљено 1. Jul 2022. <https://www.weber-tradical.com/en/about-us/>
- Tradical. 2016b. *Tradical® Hempcrete*. Besançon: Tradical <https://www.weber-tradical.com/wp-content/uploads/2018/02/Tradical-Hempcrete-brochure.pdf>
- UNEP Lifecycle Initiative. N.d. "What is Lifecycle Thinking?" Приступљено 11. март, 2021. <https://www.lifecycleinitiative.org/starting-life-cycle-thinking/what-is-life-cycle-thinking/>
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). 2008. *Background Information Document for Updating AP42 Section 2.4 for Estimating Emissions from Municipal Solid Waste Landfills (valuation of Fugitive Emissions Using Ground-Based Optical Remote Sensing Technology)*. EPA/600/R-08/116. Washington: U.S. Environmental Protection Agency. <https://www3.epa.gov/ttnchie1/ap42/ch02/draft/db02s04.pdf>
- Van Balen, Koenraad and Dionys Van Gemert. 1994. "Modelling Lime Mortar Carbonation". *Materials and Structures* 27: 393-398. <https://doi.org/10.1007/BF02473442>
- Van der Werf, Hayo. 2004. "Life Cycle Analysis of field production of fibre hemp, the effect of production practices on environmental impacts." *Euphytica* 140: 13-23. <https://doi.org/10.1007/s10681-004-4750-2>
- Van der Werf, Hayo and Lea Turunen. 2007. "The Production Chain of Hemp and Flax Textile Yarn and Its Environmental Impacts." *Journal of Industrial Hemp* 12(2): 43-66. [https://doi.org/10.1300/J237v12n02\\_04](https://doi.org/10.1300/J237v12n02_04)
- Van der Werf, Hayo and Lea Turunen. 2008. "The environmental impacts of the production of hemp and flax textile yarn." *Industrial Crops and Products* 27: 1-10 <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2007.05.003>
- Vasić, Marta. 2020. "Zašto Srbija ne koristi potencijal industrijske konoplje?" *Talas*, Oktobar 19, 2020. <https://talas.rs/2020/10/19/zasto-srbija-ne-koristi-potencijal-industrijske-konoplje/>

- Walker, Rosanne, Sara Pavia, and Ralph Mitchell. 2014. "Mechanical properties and durability of hemp-lime concretes." *Construction and Building Materials* 61: 340-348.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.02.065>
- Wang, Xiaoming and Morton A. Barlaz. 2016. "Decomposition and carbon storage of hardwood and softwood branches in laboratory-scale landfills." *Science of the Total Environment* 557-558: 355-362.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.091>
- Wang, Xiaoming, Jennifer M. Padgett, Florentino B. De la Cruz and Morton A. Barlaz. 2011. "Wood biodegradation in Laboratory-Scale landfills." *Environmental Science & Technology* 45: 6864-6871.  
<https://doi.org/10.1021/es201241g>
- Wang, Xiaoming, Jennifer M. Padgett, John S. Powell and Morton A. Barlaz. 2013. "Decomposition of forest products buried in landfills." *Waste management* 33(11): 2267-2276.  
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.07.009>
- Wang, Yixuan, James W. Levis and Morton A. Barlaz. 2021. "Life-Cycle Assessment of a Regulatory Compliant U.S. Municipal Solid Waste Landfill." *Environmental Science and Technology* 55: 13583-13592.  
<https://doi.org/10.1021/acs.est.1c02526>
- Weber Saint Gobain. 2020. *Webertherm MW*. Stockholm: The International EPD System.  
<https://api.environdec.com/api/v1/EPDLibrary/Files/3228577f-31ea-4a7a-9674-7b18d4cab29e/Data>
- Williams, Joseph, Mike Lawrence and Pete Walker. 2018. "The influence of constituents on the properties of the bio-aggregate composite hemp-lime." *Construction and Building Materials* 159: 9-17.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.10.109>
- Wood Protection Association. 2023. *Understanding Use Class 3 (UC3): Preservative treated wood*. Wakefield: Wood Protection Association.  
[https://www.thewpa.org.uk/\\_files/ugd/65ba63\\_2ed8d6e03c36415f9edf66f6c9bf7c29.pdf?index=true](https://www.thewpa.org.uk/_files/ugd/65ba63_2ed8d6e03c36415f9edf66f6c9bf7c29.pdf?index=true)
- WULCA. n.d. "What is AWARE?" Pristupljeno 11. April 2021.  
<https://wulca-waterlca.org/aware/what-is-aware/>
- Ximenes, Fabiano, Charlotte Björdal, Annette Cowie and Morton Barlaz. 2015. "The decay of wood in landfills in contrasting climates in Australia." *Waste Management* 41: 101-110.  
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.03.032>
- Yates, Tim. 2002. "Final report on the construction of the hemp houses at Haverhill Suffolk." *Building Research Establishment (BRE)*. Pristupljeno 2. mart 2021.  
<http://projects.bre.co.uk/hemphomes/HempHousesatHaverhillfinal.pdf>
- Zampori, Luca and Rana Pant. 2019. *Suggestions for updating the Product Environmental Footprint (PEF) method*. EUR 29682 EN. Luxembourg: Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/265244>
- Zeokop. 2021. "O nama." Pristupljeno 11. April 2021.  
[https://zeokop.co.rs/o\\_nama77356/](https://zeokop.co.rs/o_nama77356/)
- Škundrić, Petar, and Mirjana Kostić. 2004. "Renesansa konoplje u svetu i Srbiji." In *Konoplja-sirovina budućnosti*, by Tanja Tadić, 33-48. Beograd: Tehnološko-metalurški fakultet.

- Делић Николић, Ивана. 2014. “Типологија камена карбонатног порекла” у *Креч: Као историјски материјал*, уред. Алекса Јеликић и Драган Станојевић, 25-31. Београд: Републички завод за заштиту споменика културе.
- Јовановић Поповић, Милица, Душан Игњатовић, Ана Радивојевић, Александар Рајчић, Љиљана Ђукановић, Наташа Ђуковић Игњатовић и Милош Недић. 2012. *Атлас породичних кућа Србије*. Београд: Архитектонски Факултет Универзитета у Београду.
- Јовановић Поповић, Милица., Душан Игњатовић, Ана Радивојевић, Александар Рајчић, Љиљана Ђукановић, Наташа Ђуковић Игњатовић и Милош Недић. 2013. *Национална типологија стамбених зграда Србије*. Београд: Архитектонски Факултет Универзитета у Београду.
- Јовановић Поповић, Милица, Душан Игњатовић, Љиљана Ђукановић, Милош Недић и Бојана Станковић. 2016. *Национална типологија стамбених зграда Србије грађених од 2013*. Београд: Архитектонски Факултет Универзитета у Београду.
- Министарство грађевинарства, саобраћаја и инфраструктуре Републике Србије. 2011. *Правилник о енергетској ефикасности зграда*. Сл. гласник РС бр. 61/2011. Београд: Влада Републике Србије.
- Министарство грађевинарства, саобраћаја и инфраструктуре Републике Србије. 2012. *Правилник о условима, садржини и начину издавања сертификата о енергетским својствима зграда*. Сл. гласник РС бр. 69/2012. Београд: Влада Републике Србије.
- Министарство грађевинарства, саобраћаја и инфраструктуре Републике Србије. 2018. *Закон о грађевинским производима*. Сл. гласник РС бр. 83/2018. Београд: Влада Републике Србије.
- Министарство грађевинарства, саобраћаја и инфраструктуре Републике Србије. 2019. *Правилник о техничким нормативима за заштиту од пожара стамбених и пословних објеката и објеката јавне намене*. Сл. гласник РС бр. 22/2019. Београд: Влада Републике Србије.
- Министарство заштите животне средине Републике Србије. 2022. *Програма 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. *Програма 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.  
[https://www.ekologija.gov.rs/sites/default/files/2022-02/program\\_upravljanja\\_otpadom\\_u\\_rs\\_za\\_period\\_2022-2031\\_god\\_0\\_2.pdf](https://www.ekologija.gov.rs/sites/default/files/2022-02/program_upravljanja_otpadom_u_rs_za_period_2022-2031_god_0_2.pdf)
- Министарство пољопривреде, шумарства и водопривреде Републике Србије. 2014. *Стратегија пољопривреде и руралног развоја Републике Србије за период 2014-2024. године*. Службени гласник Републике Србије, бр. 85/2014. Београд: Влада Републике Србије.
- Министарство пољопривреде, шумарства и водопривреде Републике Србије. 2013. *Правилник о условима за гајење конопље*. Службени Гласник Републике Србије бр.64/13. Београд: Влада Републике Србије.

- Министарство унутрашњих послова Републике Србије. 2018. *Закон о психоактивним контролисаном супстанцама*. Службени Гласник Републике Србије бр.67/2018. Београд: Влада Републике Србије.
- Републички Завод за Статистику (РЗС). 2012. *Укупан превоз путника и робе, 2010. и 2011.* Саопштење број 176 год. LXII, 29.06.2012. Београд: Републички завод за статистику.  
<https://publikacije.stat.gov.rs/G2012/Pdf/G20121176.pdf>
- Републички Завод за Статистику (РЗС). 2013. *Укупан превоз путника и робе, 2011. и 2012.* Саопштење број 171 год. LXIII, 28.06.2013. Београд: Републички завод за статистику.  
<https://publikacije.stat.gov.rs/G2013/Pdf/G20131171.pdf>
- Републички Завод за Статистику (РЗС). 2015. *Укупан превоз путника и робе, 2013. и 2014.* Саопштење број 162 год. LXV, 25.06.2015. Београд: Републички завод за статистику.  
<https://publikacije.stat.gov.rs/G2015/Pdf/G20151162.pdf>
- Републички Завод за Статистику (РЗС). 2017. *Укупан превоз путника и робе, 2015. и 2016.* Саопштење број 176 год. LXVII, 30.06.2017. Београд: Републички завод за статистику.  
<https://publikacije.stat.gov.rs/G2017/Pdf/G20171176.pdf>
- Републички Завод за Статистику (РЗС). 2019. *Укупан превоз путника и робе, 2017. и 2018.* Саопштење број 169 год. LXIX, 28.06.2019. Београд: Републички завод за статистику.  
<https://publikacije.stat.gov.rs/G2019/Pdf/G20191169.pdf>
- Републички Завод за Статистику (РЗС). 2021. *Укупан превоз путника и робе, 2019. и 2020.* Саопштење број 166 год. LXXI, 25.06.2021. Београд: Републички завод за статистику.  
<https://publikacije.stat.gov.rs/G2021/Pdf/G20211166.pdf>
- Републички Завод за Статистику (РЗС). 2022а. *Укупан превоз путника и робе, 2020. и 2021.* Саопштење број 177 год. LXXII, 01.07.2022. Београд: Републички завод за статистику.  
<https://publikacije.stat.gov.rs/G2022/Pdf/G20221177.pdf>
- Републички Завод за Статистику (РЗС). 2022б. *Укупан превоз путника и робе: Прво полугодиште, 2022.* Саопштење број 268 год. LXXII, 30.09.2022. Београд: Републички завод за статистику.  
<https://publikacije.stat.gov.rs/G2022/Pdf/G20221268.pdf>

## Извори илустрација

- Слика 2.1:** Stanwix, William. 2014. "Listed barn repair and conversion." That Hempcrete Guy.  
<https://thathempcreteguy.com/work/listed-barn-repair-and-conversion>
- Слика 2.2:** Coulouris, George. 2006. "Nogent sur Seine maison de la Turquie." Colouris.  
<https://coulouris.net/george-jean/tandemfrance2006a/nogent/Pages/7.html>
- Слика 2.3:** Roos, Debbie. 2018. "Industrial Hemp is North Carolina's Newest Crop!" *Growing Small Farms*, Јун 27, 2018.  
<https://growingsmallfarms.ces.ncsu.edu/2017/08/industrial-hemp-is-north-carolinas-newest-crop/>
- Слика 2.4:** Ingraio, Carlo, Agata Lo Giudice, Jacopo Bacenetti, Caterina Tricase, Giovanni Dotelli, Marco Fiala, Valentina Siracusa and Charles Mbohwa. 2015. "Energy and environmental assessment of industrial hemp

- for building applications: A review”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51(1): 29-42.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.06.002>
- Слика 2.5:** Glé, Phillipe, Emmanuel Gourdon and Laurent Arnaud. 2011. “Characterization and modelling of the acoustical properties of hemp shiv and hemp concrete.” Researchgate.  
[https://www.researchgate.net/publication/264541121\\_Characterization\\_and\\_modelling\\_of\\_the\\_acoustical\\_properties\\_of\\_hemp\\_shiv\\_and\\_hemp\\_concrete](https://www.researchgate.net/publication/264541121_Characterization_and_modelling_of_the_acoustical_properties_of_hemp_shiv_and_hemp_concrete)
- Слика 2.6:** Tradical. 2016a. *Chanvribat® Hemp for Tradical® Hempcretes and Tradical® Hygrothermal Renders*. Besançon: Tradical  
<https://www.weber-tradical.com/wp-content/uploads/2018/02/Chanvribat-technical-data-sheet-v05.pdf>
- Слика 2.7:** Collet, Florence, Julien Chamoin, Sylvie Pretot and Christophe Lanos. 2013. “Comparison of the behavior of three hemp concretes.” *Energy and Buildings* 62: 294-303.  
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.03.010>
- Слика 2.8:** Evrard, Arnaud. 2008. “Transient hygrothermal behaviour of Lime-Hemp Materials”. Doktorska disertacija, Universite Catholique de Louvain.
- Слика 2.9:** Shea, Andy, Mike Lawrence, and Pete Walker. 2012. "Hygrothermal performance of an experimental hemp–lime building." *Construction and Building Materials* 36: 270-275.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.04.123>
- Слика 2.10:** Stanwix, William. 2013. *Hempcrete extension to Victorian terrace*. That Hempcrete Guy.  
<https://thathempcreteguy.com/work/cast-hempcrete-extension>
- Слика 2.11:** Tradical. n.d. *Tradical Information Pack*. Besançon: Tradical. Pristupljeno 9 Mart 2023  
[https://www.tradical.com/pdf/Tradical\\_Information\\_Pack.pdf](https://www.tradical.com/pdf/Tradical_Information_Pack.pdf)
- Слика 2.12:** Tradical. n.d. *Tradical Information Pack*. Besançon: Tradical. Pristupljeno 9 Mart 2023  
[https://www.tradical.com/pdf/Tradical\\_Information\\_Pack.pdf](https://www.tradical.com/pdf/Tradical_Information_Pack.pdf)
- Слика 2.14:** Hempitecture. 2020. “1st Hempcrete Build of 2020.” Hempitecture, 16 Septembar 2020.  
<https://www.hempitecture.com/post/1st-hempcrete-build-of-2020>
- Слика 2.15:** Tradical. n.d. *Tradical Information Pack*. Besançon: Tradical. Pristupljeno 9 Mart 2023  
[https://www.tradical.com/pdf/Tradical\\_Information\\_Pack.pdf](https://www.tradical.com/pdf/Tradical_Information_Pack.pdf)
- Слика 2.16:** UKHempcrete. 2013. “Timber frame and hempcrete construction from UK Hempcrete.” Pinterest.  
<https://www.pinterest.co.uk/pin/timber-frame-and-hempcrete-construction-from-uk-hempcrete--34832597106667303/>
- Слика 2.17:** Barrault Pressacco. 2019. “Soon! Concrete, wood, hemp. Rue Max Dormoy, Paris 18.” Facebook.  
<https://www.facebook.com/barraultpressacco/photos/pb.100050008584433.-2207520000./2377697848982579/?type=3>
- Слика 2.18:** Weber-Tradical n.d.a. “Hempcrete Insulating Lining.” Pristupljeno 18 Mart 2023  
<https://www.weber-tradical.com/en/hempcrete/what-is-hempcrete-2/>
- Слика 2.19:** Stanwix, William. 2014. “Restoration.” That Hempcrete Guy.  
<https://thathempcreteguy.com/work/hempcrete-restoration>

- Слика 2.20:** Stanwix, William. 2014. "Hempcrete daub." That Hempcrete Guy.  
<https://thathempcreteguy.com/work/hempcrete-daub>
- Слика 2.21:** Stanwix, William. 2014. "Giant hempcrete block extension." That Hempcrete Guy  
<https://thathempcreteguy.com/work/hempcrete-block-and-oak-frame>
- Слика 2.22:** UKHempcrete. 2017. "William's Den." Pristupljeno 9 Mart 2023  
<https://www.ukhempcrete.com/gallery/williams-den/>
- Слика 2.23:** UKHempcrete. n.d.a "Timber Framing." Pristupljeno 9 Mart 2023  
<https://www.ukhempcrete.com/gallery/gallery-timber-framing/>
- Слика 2.24:** Isohemp. 2018a. "New build – Detached House – Plasmolen (NL)". Pristupljeno 9 Mart 2023.  
<https://www.iso hemp.com/en/reference/new-build-detached-house-plasmolen-nl>
- Слика 2.25:** Isohemp. 2015. "New Build – Detached House – Tournai". Pristupljeno 9 Mart 2023  
<https://www.iso hemp.com/en/reference/new-build-detached-house-tournai>
- Слика 2.26:** UKHempcrete. n.d. "Subcontractor design and build hempcrete composite walling system." Pristupljeno 9 Mart 2023.  
<https://www.ukhempcrete.com/subcontractor-design-build-hempcrete-composite-walling-system/>
- Слика 2.27:** Isohemp. 2018b. "New build - Detached house – Braive." Pristupljeno 9 Mart 2023.  
<https://www.iso hemp.com/en/reference/new-building-detached-house-braive>
- Слика 2.28:** Isohemp. 2016. "New build - Detached house – Paliseul." Pristupljeno 9 Mart 2023  
<https://www.iso hemp.com/en/reference/new-build-detached-house-paliseul>
- Слика 2.29:** Solution Biosys n.d. "Blocs à emboîtement." Pristupljeno 9 Mart 2023.  
<https://www.solution-biosys.fr/construire-en-biosource/nos-fibres/blocs-emboitement>
- Слика 2.30:** Practice Architecture. 2019. "Flat house".  
<https://practicearchitecture.co.uk/project/flat-house/>
- Слика 2.31:** Practice Architecture. 2019. "Flat house."  
<https://practicearchitecture.co.uk/project/flat-house/>
- Слика 2.32:** Levy, Natasha. 2020. "Hemp is used on interior and exterior of zero carbon Flat House in Cambridgeshire." *Dezeen*, Јануар 9, 2020.  
<https://www.dezeen.com/2020/01/09/flat-house-hempcrete-practice-architecture-margent-farm/>
- Слика 2.33 и Слика 2.34:** Weber-Tradical n.d.b. "Hempcrete: Insulating Roofs." Pristupljeno 18 Mart 2023.  
<https://www.weber-tradical.com/en/hempcrete/beton-de-chanvre-toiture-isolante/>
- Слика 2.35 и Слика 2.36:** Weber-Tradical n.d.c. "Insulating Screeds made with Tradical Hempcrete." Pristupljeno 18 Mart 2023  
<https://www.weber-tradical.com/en/hempcrete/insulating-screeds-made-with-tradical-hempcrete/>
- Слика 3.1:** D-maps. n.d. "Map Serbia: outline, hydrography, white." Pristupljeno 12 Mart 2023  
[https://d-maps.com/carte.php?num\\_car=27593&lang=en](https://d-maps.com/carte.php?num_car=27593&lang=en)
- Слика 3.3:** Republički zavod za zaštitu spomenika kulture. 2006. "Atlas narodnog graditeljstva Srbija." Pristupljeno 15 Јануар 2017. <https://www.atlas.heritage.gov.rs/>



**Слика 3.5:** Milovanović, Marko. 2021a. “Fotografija: Kuća je potpuno izolovana konopljom.” U *Ekološka i moderna: Kuća od konoplje*, autor Igor Conić, 8 Decembar 2021.

<https://www.gradnja.rs/hemphouse-kuca-od-konoplje-ljubica-arsic-daniel-fuchs/>

**Слика 3.6:** Milovanović, Marko. 2021b. “Fotografija: Hemp house je ekološka kuća od konoplje.” U *Ekološka i moderna: Kuća od konoplje*, autor Igor Conić, 8 Decembar 2021.

<https://www.gradnja.rs/hemphouse-kuca-od-konoplje-ljubica-arsic-daniel-fuchs/>

**Слика 4.1:** International Organization for Standardization. 2006a. *ISO 14040:2006 - Environmental Management- Life cycle assessment - Principles and framework*. International standard, Geneva: International Organization for Standardization.

## Прилози

**Прилог А: Додатни резултати процена животног циклуса**

Табеле у Прилогу А приказују додатне резултате процена животног циклуса.

Табела ПА1 је повезана са секцијом 6.8 и приказује еколошки утицај варирања приноса индустријске конопље и количине уноса азота.

Табела ПА1: Еколошки утицај режима ђубрења на принос

Сценарио	<i>GWP</i> kgCO <sub>2</sub> eq.	<i>AP</i> kgSO <sub>2</sub> eq.	<i>EP</i> PO <sub>4</sub> eq.	<i>POCP</i> kgC <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq.	<i>ODP</i> kgCFC-11eq.	<i>ADP</i> kgSbeq.	<i>ADPf</i> MJeq.
A	-0.237	0.194	0.133	8.45E-03	5.33E-06	6.53E-05	492.096
<b>A+принос 8.9t/ha</b>	0.013	0.195	0.134	8.48E-03	5.36E-06	6.76E-05	494.712
% у односу на А	<b>+105.30%</b>	<b>+0.54%</b>	<b>+1.02%</b>	<b>+0.32%</b>	<b>+0.47%</b>	<b>+3.49%</b>	<b>+0.53%</b>
<b>A+120kg азота+принос 7.5t/ha</b>	0.979	0.199	0.138	8.59E-03	5.45E-06	8.12E-05	506.642
% у односу на А	<b>+512.52%</b>	<b>+2.67%</b>	<b>+3.58%</b>	<b>+1.65%</b>	<b>+2.31%</b>	<b>+24.40%</b>	<b>+2.96%</b>
<b>A+120kg азота+принос 10t/ha</b>	0.169	0.196	0.134	8.50E-03	5.37E-06	7.27E-05	497.715
% у односу на А% у односу на А	<b>+171.39%</b>	<b>+0.90%</b>	<b>+0.63%</b>	<b>+0.58%</b>	<b>+0.79%</b>	<b>+11.25%</b>	<b>+1.14%</b>
<b>A+120kg азота+принос 12.5t/ha</b>	-0.316	0.194	0.131	8.44E-03	5.32E-06	6.75E-05	492.359
% у односу на А	<b>-33.29%</b>	<b>-0.16%</b>	<b>-1.14%</b>	<b>-0.06%</b>	<b>-0.13%</b>	<b>+3.36%</b>	<b>+0.05%</b>

Табела ПА2 је повезана са секцијом 6.8 и приказује еколошки утицај варирања раздаљина превоза сировина у фази изградња.

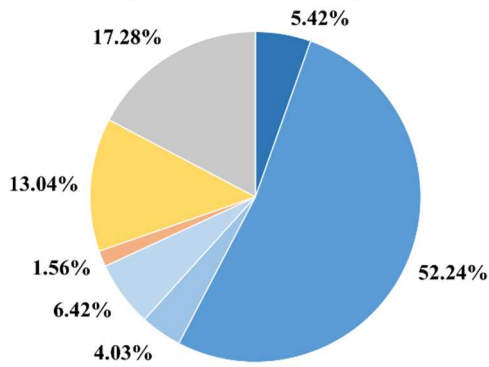
Табела ПА2: Еколошки утицај алтернативних раздаљина превоза сировина у фази изградње

Сценарио	<i>GWP</i> kgCO <sub>2</sub> eq.	<i>AP</i> kgSO <sub>2</sub> eq.	<i>EP</i> PO <sub>4</sub> eq.	<i>POCP</i> kgC <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq.	<i>ODP</i> kgCFC-11eq.	<i>ADPe</i> kgSb <sub>eq.</sub>	<i>ADPf</i> MJ <sub>eq.</sub>
A	-0.237	0.194	0.133	8.45E-03	5.33E-06	6.53E-05	492.096
<b>A + превоз у фази изградње 137.5km</b>	0.007	0.195	0.133	8.48E-03	5.38E-06	6.63E-05	495.657
% у односу на A	<b>+103.03%</b>	<b>+0.40%</b>	<b>+0.13%</b>	<b>+0.38%</b>	<b>+0.84%</b>	<b>+1.50%</b>	<b>+0.72%</b>
<b>A + возила у фази изградње (&gt;32t EURO5)</b>	-1.484	0.190	0.132	8.28E-03	5.11E-06	5.83E-05	474.660
% у односу на A	<b>-525.13%</b>	<b>-1.97%</b>	<b>-0.67%</b>	<b>-1.98%</b>	<b>-4.09%</b>	<b>-10.76%</b>	<b>-3.54%</b>
<b>Пик + возила у фази изградње (&gt;32t EURO5)</b>	-0.956	0.192	0.132	8.35E-03	5.21E-06	5.95E-05	482.657
% у односу на A	<b>-302.87%</b>	<b>-1.08%</b>	<b>-0.39%</b>	<b>-1.18%</b>	<b>-2.20%</b>	<b>-8.89%</b>	<b>-1.92%</b>
<b>A + превоз везива у фази изградње 525km (16-32t EURO5)</b>	4.033	0.208	0.136	9.01E-03	6.12E-06	8.03E-05	554.738
% у односу на A	<b>+1798.6%</b>	<b>+7.00%</b>	<b>+2.29%</b>	<b>+6.59%</b>	<b>+14.84%</b>	<b>+22.96%</b>	<b>+12.73%</b>
<b>A + превоз везива у фази изградње 1600km (&gt;32t EURO5)</b>	7.754	0.220	0.139	9.47E-03	6.86E-06	8.22E-05	613.853
% у односу на A	<b>+3366.1%</b>	<b>+13.51%</b>	<b>+4.35%</b>	<b>+12.12%</b>	<b>+28.78%</b>	<b>+25.90%</b>	<b>+24.74%</b>

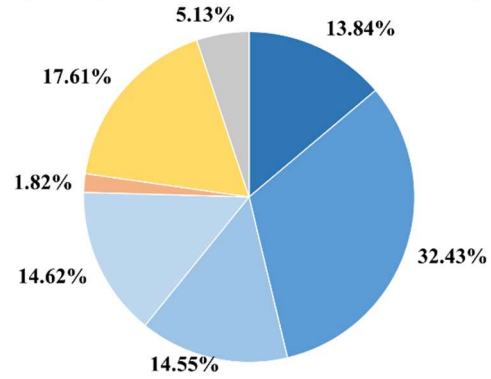
Табела ПА3: Еколошки утицаји животног циклуса сценарија Б<sub>27</sub>

<b>Процес</b>		<b>GWP</b> kgCO <sub>2</sub> eq.	<b>AP</b> kgSO <sub>2</sub> eq.	<b>EP</b> PO <sub>4</sub> eq.	<b>POCP</b> kgC <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq.	<b>ODP</b> kgCFC-11eq.	<b>ADP</b> kgSbeq.	<b>ADPf</b> MJeq.
<b>A1- A3</b>	Производња поздера индусријске конопље	4.180	0.028	0.023	1.18E-03	2.50E-07	2.12E-05	36.296
	Везивање CO <sub>2</sub> : поздер	-39.818						
	Производња сировина за везиво	40.305	0.060	0.024	2.77E-03	2.96E-06	7.74E-06	232.777
	Превоз сировина и производња блокова	4.954	0.031	0.017	1.25E-03	1.46E-06	1.72E-05	71.069
	Производња дрвене грађе	3.113	0.030	0.020	1.24E-03	2.01E-07	3.62E-06	32.818
	Везивање CO <sub>2</sub> : дрвена грађа	-10.780						
<b>A4</b>	Превоз материјала до локације	1.203	0.004	0.001	1.55E-04	2.28E-07	3.20E-06	18.094
<b>A5</b>	Уградња зида	10.061	0.028	0.024	1.50E-03	8.36E-07	1.91E-05	78.350
	Везивање CO <sub>2</sub> : отпад дрво и поздер	-2.530						
<b>B1- B7</b>	Карбонатизација функционалне јединице	-19.208						
	Карбонатизација малтера	-2.046						
	Карбонатизација отпадног везива и малтера	-0.928						
<b>Ц1- Ц4</b>	Одлагање функционалне јединице	13.331	0.013	0.005	4.38E-04	4.61E-07	6.59E-06	38.665
<b>УКУПНО</b>		<b>1.838</b>	<b>0.194</b>	<b>0.114</b>	<b>8.55E-03</b>	<b>6.40E-06</b>	<b>7.86E-05</b>	<b>508.068</b>

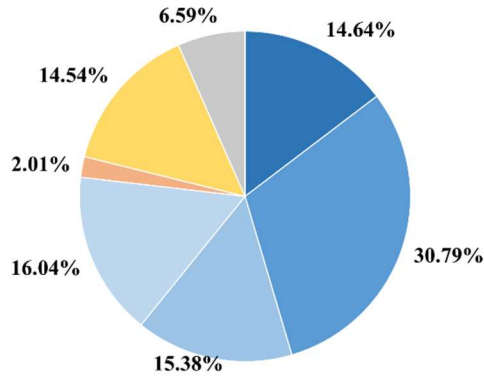
Глобално загревање (*GWP*) (kgCO<sub>2eq</sub>)



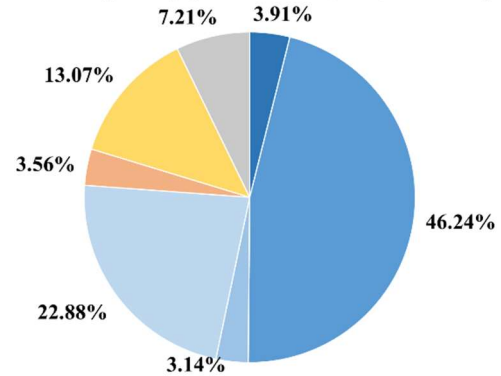
Стварање фотохемијског озона (*POCP*) (kgC<sub>2</sub>H<sub>4eq</sub>)



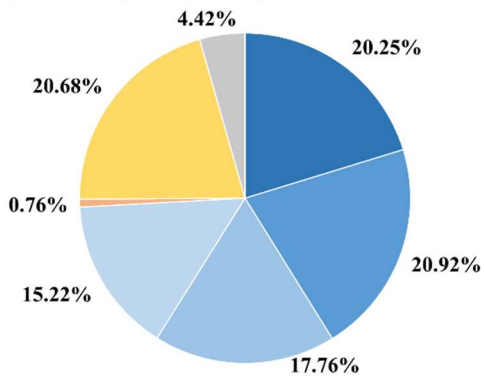
Ацидификација (*AP*) (kgSO<sub>2eq</sub>)



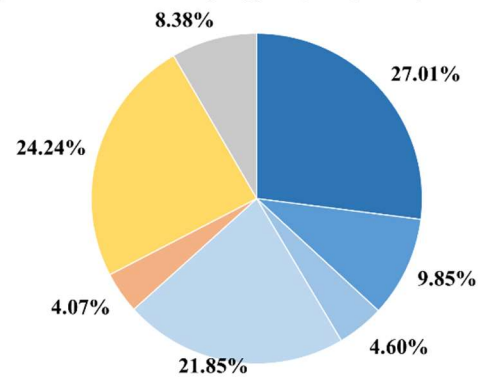
Трошење стратосферског озона (*ODP*) (kgCFC-11<sub>eq</sub>)



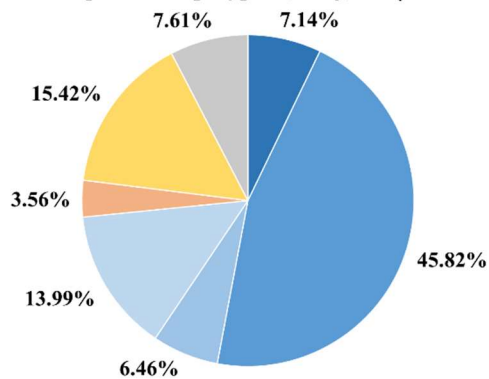
Еутрофикација (*EP*) (kgPO<sub>4eq</sub>)



Трошење абиотских ресурса (*ADP*) (kgSb<sub>eq</sub>)



Трошење фосилних ресурса (*ADPf*) (MJ<sub>eq</sub>)



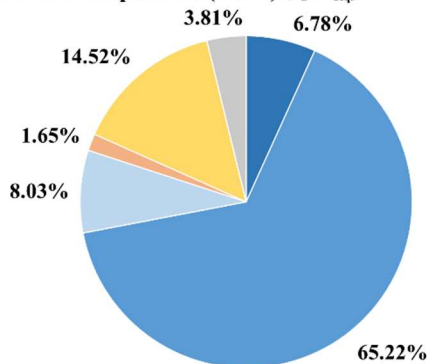
- Производња поздера индустријске конопље
- Производња сировина за везиво
- Производња дрвета
- Превоз сировина и производња блокова
- Превоз сировина до локације
- Уградња зида
- Одлагање функционалне јединице

Слика ПА1: Релативни еколошки утицаји процеса у склопу животног циклуса сценарија Б<sub>27</sub>

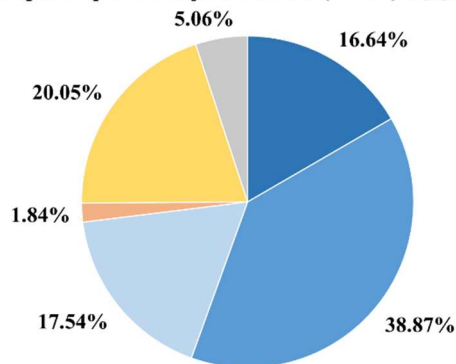
Табела ПА4: Еколошки утицаји животног циклуса сценарија Би

<b>Процес</b>		<b>GWP</b> kgCO <sub>2</sub> eq.	<b>AP</b> kgSO <sub>2</sub> eq.	<b>EP</b> PO <sub>4</sub> eq.	<b>POCP</b> kgC <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq.	<b>ODP</b> kgCFC-11eq.	<b>ADP</b> kgSb <sub>eq.</sub>	<b>ADPf</b> MJ <sub>eq.</sub>
<b>A1- A3</b>	Производња поздера индусријске конопље	4.271	0.029	0.024	1.21E-03	2.55E-07	2.17E-05	37.087
	Везивање CO <sub>2</sub> : поздер	-40.687						
	Производња сировина за везиво	41.076	0.061	0.024	2.82E-03	3.01E-06	7.89E-06	237.227
	Превоз сировина и производња блокова	5.055	0.032	0.018	1.27E-03	1.49E-06	1.75E-05	72.512
<b>A4</b>	Превоз материјала до локације	1.040	0.003	0.001	1.34E-04	1.99E-07	2.41E-06	15.759
<b>A5</b>	Уградња зида	9.145	0.027	0.020	1.46E-03	7.59E-07	1.95E-05	73.577
	Везивање CO <sub>2</sub> : отпад поздер	-2.027						
<b>B1- B7</b>	Карбонатизација функционалне јединице	-19.576						
	Карбонатизација малтера	-1.640						
	Карбонатизација отпадног везива и малтера	-0.935						
<b>Ц1- Ц4</b>	Одлагање функционалне јединице	2.397	0.011	0.003	3.68E-04	4.38E-07	6.12E-06	36.681
<b>УКУПНО</b>		<b>-1.880</b>	<b>0.163</b>	<b>0.089</b>	<b>7.27E-03</b>	<b>6.16E-06</b>	<b>7.51E-05</b>	<b>472.844</b>

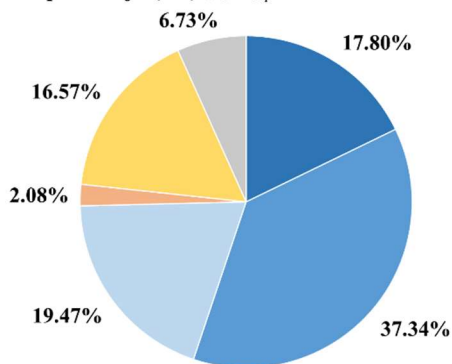
Глобално загревање (*GWP*) (kgCO<sub>2eq</sub>)



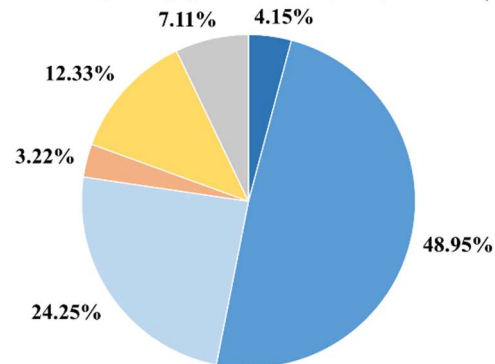
Стварање фотохемијског озона (*POCP*) (kgC<sub>2</sub>H<sub>4eq</sub>)



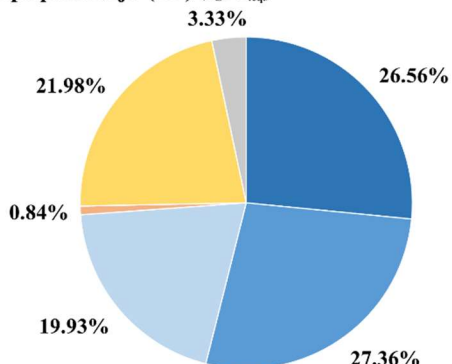
Ацидификација (*AP*) (kgSO<sub>2eq</sub>)



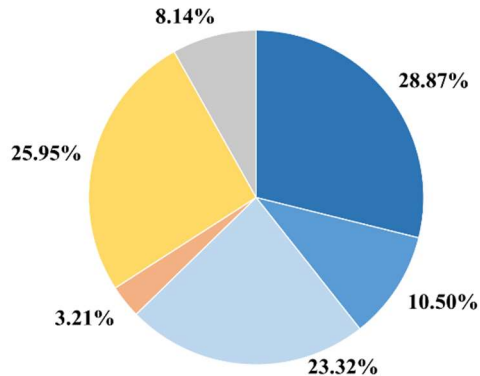
Трошење стратосферског озона (*ODP*) (kgCFC-11<sub>eq</sub>)



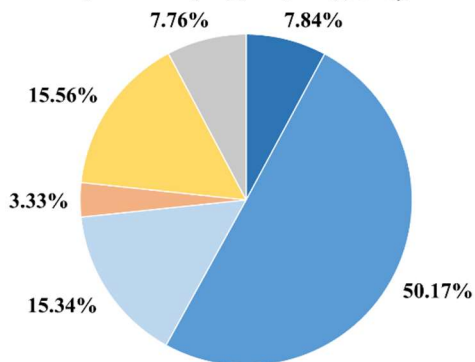
Еутрофикација (*EP*) (kgPO<sub>4eq</sub>)



Трошење абиотских ресурса (*ADP*) (kgSb<sub>eq</sub>)



Трошење фосилних ресурса (*ADPf*) (MJ<sub>eq</sub>)



- Производња поздера индустријске конопље
- Производња сировина за везиво
- Превоз сировина и производња блокова
- Превоз сировина до локације
- Изградња функционалне јединице
- Одлагање функционалне јединице

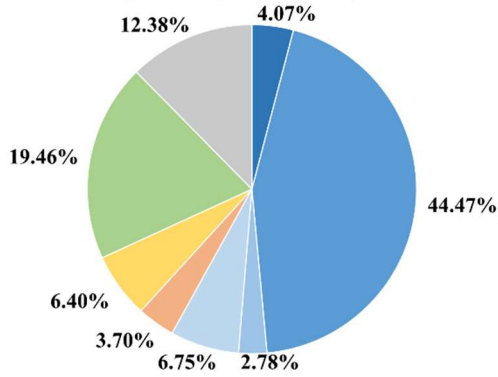
Слика ПА2: Релативни односи процеса у склопу животног циклуса сценарија Би



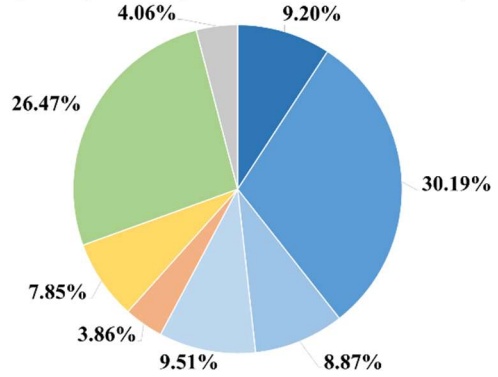
Табела ПА5: Еколошки утицаји животног циклуса сценарија А+М<sub>ПХК</sub>

<b>Процес</b>		<b>GWP</b> kgCO <sub>2</sub> eq.	<b>AP</b> kgSO <sub>2</sub> eq.	<b>EP</b> PO <sub>4</sub> eq.	<b>POCP</b> kgC <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq.	<b>ODP</b> kgCFC-11eq.	<b>ADP</b> kgSb <sub>eq.</sub>	<b>ADPf</b> MJ <sub>eq.</sub>
<b>A1- A3</b>	Производња поздера индусријске конопље	4.560	0.031	0.025	1.29E-03	2.73E-07	2.32E-05	39.595
	Везивање CO <sub>2</sub> : поздер	-43.438						
	Производња везива	49.878	0.095	0.043	4.24E-03	3.77E-06	1.65E-05	316.960
	Производња дрвене грађе	3.113	0.030	0.020	1.24E-03	2.01E-07	3.62E-06	32.818
	Везивање CO <sub>2</sub> : дрвена грађа	-10.780						
	Производња спољашње и унутрашње обраде	7.570	0.033	0.011	1.33E-03	8.63E-08	9.36E-06	58.635
<b>A4</b>	Превоз материјала до локације	4.151	0.013	0.003	5.41E-04	7.70E-07	1.43E-05	61.259
<b>A5</b>	Уградња зида	7.182	0.024	0.044	1.10E-03	2.86E-07	8.06E-06	40.002
	Везивање CO <sub>2</sub> : отпад поздер и дрво	-2.711						
<b>B1- B4</b>	Обнова спољашње и унутрашње обраде	21.832	0.092	0.038	3.71E-03	1.18E-06	3.76E-05	206.342
	Карбонатизација везива	-22.036						
	Карбонатизација малтера	-4.437						
	Карбонатизација отпадног везива и малтера	-0.623						
<b>Ц1- Ц4</b>	Одлагање зида	13.884	0.016	0.006	5.69E-04	5.29E-07	9.04E-06	47.203
<b>УКУПНО</b>		<b>28.163</b>	<b>0.333</b>	<b>0.192</b>	<b>1.40E-02</b>	<b>7.09E-06</b>	<b>1.22E-04</b>	<b>802.815</b>

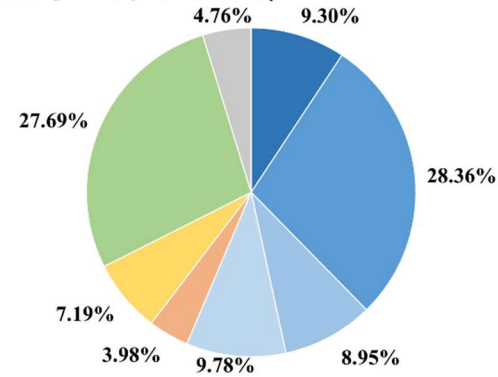
Глобално загревање (*GWP*) (kgCO<sub>2eq</sub>)



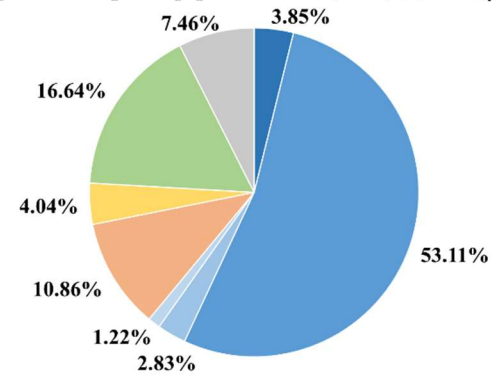
Стварање фотохемијског озона (*POCP*) (kgC<sub>2</sub>H<sub>4eq</sub>)



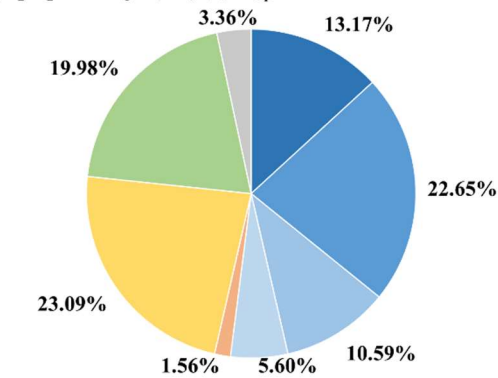
Ацидификација (*AP*) (kgSO<sub>2eq</sub>)



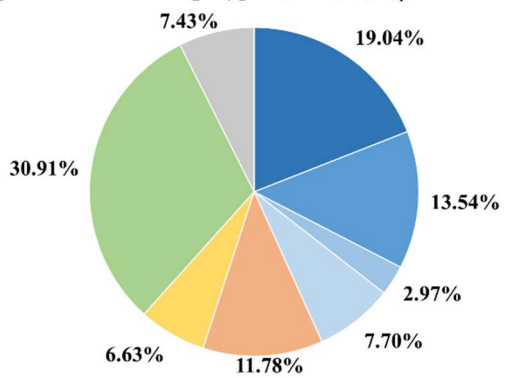
Трошење стратосферског озона (*ODP*) (kgCFC-11<sub>eq</sub>)



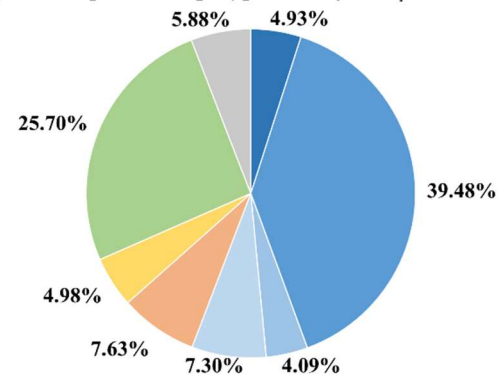
Еутрофикација (*EP*) (kgPO<sub>4eq</sub>)



Трошење абиотских ресурса (*ADP*) (kgSb<sub>eq</sub>)



Трошење фосилних ресурса (*ADPf*) (MЈ<sub>eq</sub>)



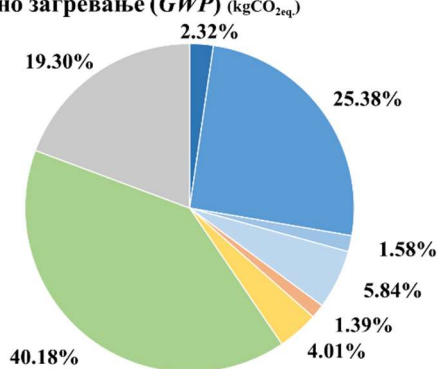
- Производња поздера индустријске копошље
- Производња везива
- Производња дрвене грађе
- Производња спољашње и унутрашње обраде
- Превоз сировина до локације
- Изградња функционалне јединице
- Обнове обрада (две споља и две унутра)
- Одлагање функционалне јединице

Слика ПА3: Релативни однос процеса у склопу животног циклуса сценарија А+М<sub>ПХК</sub>

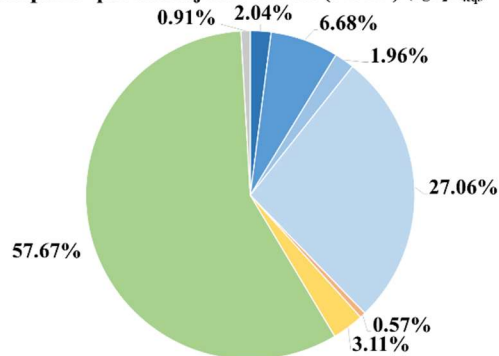
Табела ПА6: Еколошки утицаји животног циклуса сценарија А+ВФд

<b>Процес</b>		<b>GWP</b> kgCO <sub>2</sub> eq.	<b>AP</b> kgSO <sub>2</sub> eq.	<b>EP</b> PO <sub>4</sub> eq.	<b>POCP</b> kgC <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq.	<b>ODP</b> kgCFC-11eq.	<b>ADP</b> kgSbeq.	<b>ADPf</b> MJeq.
<b>A1- A3</b>	Производња поздера индусријске конопље	4.560	0.031	0.025	1.29E-03	2.73E-07	2.32E-05	39.595
	Везивање CO <sub>2</sub> : поздер	-43.438						
	Производња везива	49.878	0.095	0.043	4.24E-03	3.77E-06	1.65E-05	316.960
	Производња дрвене грађе	3.113	0.030	0.020	1.24E-03	2.01E-07	3.62E-06	32.818
	Везивање CO <sub>2</sub> : дрвена грађа	-35.134						
	Производња спољашње и унутрашње обраде	11.470	0.073	0.043	1.71E-02	4.61E-07	9.32E-05	113.930
<b>A4</b>	Превоз материјала до локације	2.734	0.009	0.002	3.59E-04	4.99E-07	1.12E-05	39.749
<b>A5</b>	Уградња зида	7.888	0.026	0.055	1.97E-03	3.09E-07	1.50E-05	43.197
	Везивање CO <sub>2</sub> : отпад поздер и дрво	-3.9286						
<b>B1- B4</b>	Обнова спољашње и унутрашње обраде	78.984	0.170	0.120	3.65E-02	1.38E-06	2.03E-04	286.151
	Карбонатизација везива	-22.036						
	Везивање CO <sub>2</sub> : дрвена грађа	-51.144						
	Карбонатизација малтера	-6.666						
	Карбонатизација отпадног везива и малтера	-0.825						
<b>Ц1- Ц4</b>	Одлагање зида	37.935	0.016	0.006	5.75E-04	5.34E-07	9.16E-06	47.706
<b>УКУПНО</b>		<b>33.389</b>	<b>0.449</b>	<b>0.315</b>	<b>6.34E-02</b>	<b>7.42E-06</b>	<b>3.74E-04</b>	<b>920.107</b>

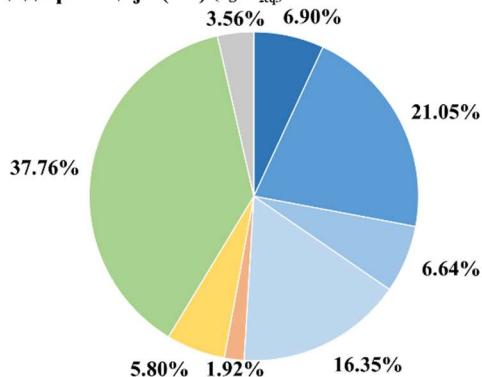
Глобално загревање (*GWP*) (kgCO<sub>2eq.</sub>)



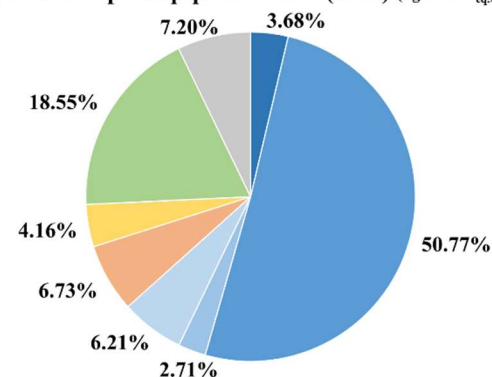
Стварање фотохемијског озона (*POCP*) (kgC<sub>2</sub>H<sub>4eq.</sub>)



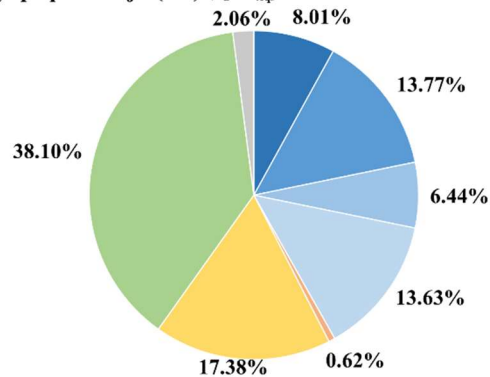
Ацидификација (*AP*) (kgSO<sub>2eq.</sub>)



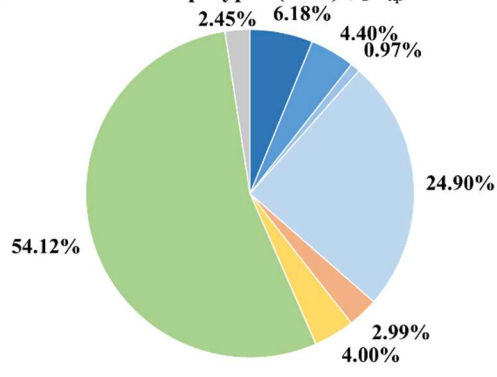
Трошење стратосферског озона (*ODP*) (kgCFC-11<sub>eq.</sub>)



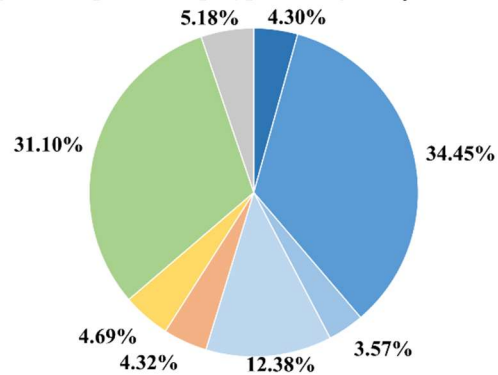
Еутрофикација (*EP*) (kgPO<sub>4eq.</sub>)



Трошење абиотских ресурса (*ADP*) (kgSb<sub>eq.</sub>)



Трошење фосилних ресурса (*ADPf*) (MЈ<sub>eq.</sub>)



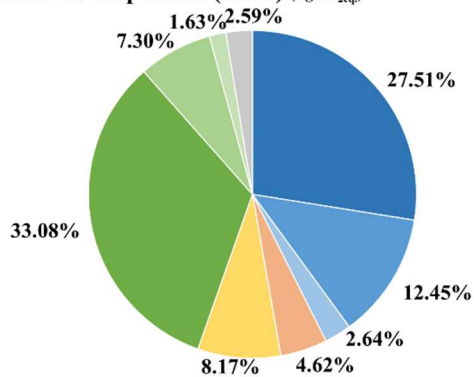
- Производња поздера индустријске конопље
- Производња везива
- Производња дрвене грађе
- Производња спољашње и унутрашње обраде
- Превоз сировина до локације
- Изградња функционалне јединице
- Обнове обрада (две споља и две унутра)
- Одлагање функционалне јединице

Слика ПА4: Релативни однос процеса у склопу животног циклуса сценарија А+ВФд

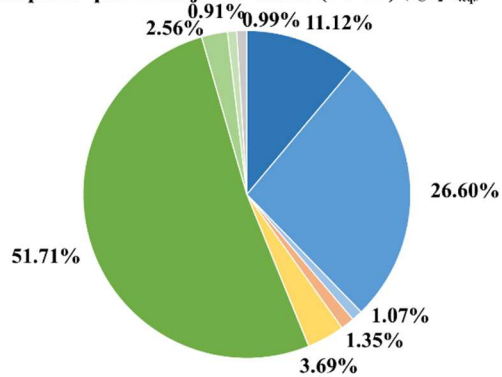
Табела ПА7. Еколошки утицаји животног циклуса сценарија Гб

<b>Процес</b>		<b>GWP</b> kgCO <sub>2</sub> eq.	<b>AP</b> kgSO <sub>2</sub> eq.	<b>EP</b> PO <sub>4</sub> eq.	<b>POCP</b> kgC <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq.	<b>ODP</b> kgCFC-11eq.	<b>ADP</b> kgSb <sub>eq.</sub>	<b>ADPf</b> MJeq.
<b>A1- A3</b>	Производња гитер блокова	32.834	0.126	0.064	6.12E-03	6.57E-06	1.33E-04	508.204
	Производња система контактне фасаде	14.858	0.072	0.020	1.46E-02	2.40E-06	6.90E-03	250.176
	Производња унутрашње обраде зида	3.151	0.017	0.007	5.86E-04	2.25E-07	1.56E-03	54.540
<b>A4</b>	Превоз сировина на локацију	5.511	0.018	0.004	7.44E-04	1.04E-06	1.72E-05	82.442
<b>A5</b>	Изградња функционалне јединице	9.754	0.033	0.029	2.03E-03	9.10E-07	6.76E-04	96.615
<b>B1- B7</b>	Производња сировина за обнову спољашње и унутрашње обраде (урачунат отпад)	39.477	0.357	0.046	2.84E-02	2.16E-05	8.18E-02	759.562
	Превоз сировина за обнову	8.710	0.029	0.007	1.41E-03	1.62E-06	3.99E-05	129.274
	Обнова спољашње и унутрашње обраде	1.949	0.011	0.077	4.99E-04	1.23E-07	4.20E-06	16.602
	Карбонатизација зидарског малтера	-1.735						
<b>Ц1- Ц4</b>	Одлагање функционалне јединице	3.095	0.016	0.016	5.45E-04	4.97E-07	8.34E-06	43.843
<b>УКУПНО</b>		<b>117.605</b>	<b>0.680</b>	<b>0.270</b>	<b>5.50E-02</b>	<b>3.50E-05</b>	<b>9.11E-02</b>	<b>1941.26</b>

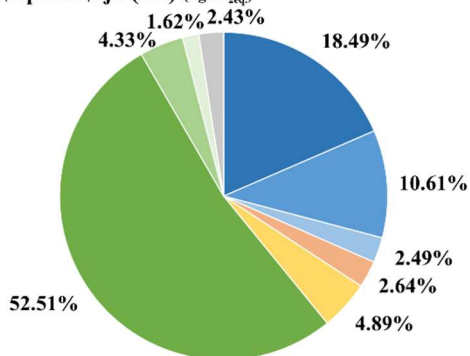
Глобално загревање (*GWP*) (kgCO<sub>2eq.</sub>)



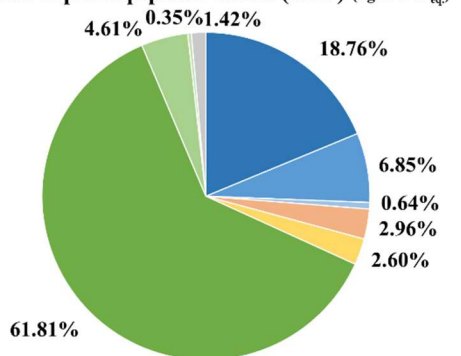
Стварање фотохемијског озона (*POCP*) (kgC<sub>2</sub>H<sub>4eq.</sub>)



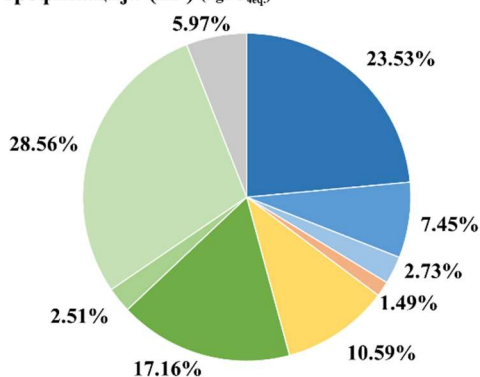
Ацидификација (*AP*) (kgSO<sub>2eq.</sub>)



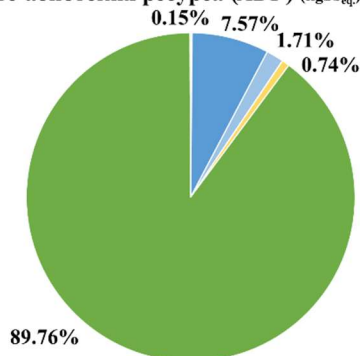
Трошење стратосферског озона (*ODP*) (kgCFC-11<sub>eq.</sub>)



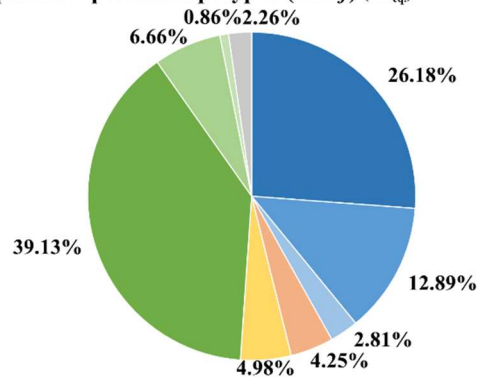
Еутрофикација (*EP*) (kgPO<sub>4eq.</sub>)



Трошење абиотских ресурса (*ADP*) (kgSb<sub>eq.</sub>)



Трошење фосилних ресурса (*ADPf*) (MЈ<sub>eq.</sub>)



- Производња поздера индустријске конопље
- Производња везива
- Производња дрвене грађе
- Производња спољашње и унутрашње обраде
- Превоз сировина до локације
- Изградња функционалне јединице
- Обнове обрада (две споља и две унутра)
- Одлагање функционалне јединице

Слика ПА5: Релативни однос процеса у склопу животног циклуса сценарија Гб

Табела ПА8 пореди резултате модификованог сценарија П+М<sub>КТ</sub>+ФК<sub>П</sub>+ФО<sub>23%/75%</sub> (6 спољашњих обноваи 4 унутрашње обнове) са резултатима функционалне јединице Т и анализа осетљивости режима обнова (Т+ФК<sub>П</sub> и Т+ФК<sub>О</sub>).

Табела ПА8: Еколошки утицај модификованог сценарија П+М<sub>КТ</sub>+ФК<sub>П</sub>+ФО<sub>23%/75%</sub> (6 спољашњих обнова и 4 унутрашње обнове) у поређењу са типичном праксом (Т, Т+ФК<sub>П</sub> и Т+ФК<sub>О</sub>).

Сценарио	<i>GWP</i> kgCO <sub>2</sub> eq.	<i>AP</i> kgSO <sub>2</sub> eq.	<i>EP</i> PO <sub>4</sub> eq.	<i>POCP</i> kgC <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq.	<i>ODP</i> kgCFC-11eq.	<i>ADPe</i> kgSb <sub>eq.</sub>	<i>ADPf</i> MJ <sub>eq.</sub>
<b>П+М<sub>КТ</sub>+ФК<sub>П</sub>+ФО<sub>23</sub> %/75%+ модификација (укупно 6 спољашњих и 4 унутрашње обнове)</b>	88.605	0.539	0.400	2.15E-01	1.05E-05	2.74E-04	1321.775
<b>Т</b>	108.845	0.644	0.245	4.95E-02	3.40E-05	9.11E-02	1802.950
% у односу на П+...	<b>22.84%</b>	<b>19.34%</b>	<b>-38.89%</b>	<b>-77.00%</b>	<b>225.51%</b>	<b>33136.9%</b>	<b>36.40%</b>
<b>Т+ФК<sub>П</sub></b>	130.595	0.740	0.311	6.39E-02	3.72E-05	1.00E-01	2094.235
% у односу на П+...	<b>47.39%</b>	<b>37.23%</b>	<b>-22.27%</b>	<b>-70.31%</b>	<b>255.85%</b>	<b>36435.0%</b>	<b>58.44%</b>
<b>Т+ФК<sub>О</sub></b>	102.309	0.571	0.230	4.62E-02	2.89E-05	7.29E-02	1640.540
% у односу на П+...	<b>15.47%</b>	<b>5.76%</b>	<b>-42.52%</b>	<b>-78.55%</b>	<b>176.56%</b>	<b>26497.2%</b>	<b>24.12%</b>

Табеле ПА9 и ПА10 приказују резултате анализе осетљивости варирања коефицијента пролаза топлоте (7.6) у односу на резултате сценарија А+М<sub>КТ</sub>.

Табела ПА9: Еколошки утицај варирање коефицијента пролаза топлоте (+U=0.24/+U=0.18) у односу на сценарио А+М<sub>КТ</sub>

Сценарио	<i>GWP</i> kgCO <sub>2eq.</sub>	<i>AP</i> kgSO <sub>2eq.</sub>	<i>EP</i> PO <sub>4eq.</sub>	<i>POCP</i> kgC <sub>2</sub> H <sub>4eq.</sub>	<i>ODP</i> kgCFC-11 <sub>eq.</sub>	<i>ADPe</i> kgSb <sub>eq.</sub>	<i>ADPf</i> MJ <sub>eq.</sub>
A+M <sub>KT</sub>	28.026	0.347	0.243	1.07E-01	7.19E-06	1.52E-04	841.541
T	108.845	0.644	0.245	4.95E-02	3.40E-05	9.11E-02	1802.950
% у односу на А+.	<b>288.37%</b>	<b>85.39%</b>	<b>0.56%</b>	<b>-53.85%</b>	<b>373.55%</b>	<b>59868.4%</b>	<b>114.24%</b>
<b>T+U=0.24</b>	113.388	0.664	0.266	5.62E-02	3.41E-05	9.11E-02	1891.087
% у односу на А+.	<b>304.58%</b>	<b>91.20%</b>	<b>9.25%</b>	<b>-47.65%</b>	<b>374.80%</b>	<b>59869.5%</b>	<b>124.72%</b>
<b>T+U=0.18</b>	121.113	0.700	0.304	6.94E-02	3.43E-05	9.11E-02	2044.402
% у односу на А+.	<b>332.14%</b>	<b>101.53%</b>	<b>25.05%</b>	<b>-35.36%</b>	<b>376.78%</b>	<b>59870.3%</b>	<b>142.94%</b>
<b>A+M<sub>KT</sub>+U=0.24</b>	27.062	0.390	0.271	1.09E-01	8.54E-06	1.68E-04	961.911
% у односу на А+.	<b>-3.44%</b>	<b>12.31%</b>	<b>11.51%</b>	<b>1.73%</b>	<b>18.75%</b>	<b>10.51%</b>	<b>14.30%</b>
<b>A+M<sub>KT</sub>+U=0.18</b>	26.559	0.475	0.329	1.13E-01	1.09E-05	1.97E-04	1181.086
% у односу на А+.	<b>5.23%</b>	<b>36.69%</b>	<b>35.42%</b>	<b>5.15%</b>	<b>52.08%</b>	<b>29.66%</b>	<b>40.35%</b>
<b>Би+M<sub>KT</sub>+U=0.24</b>	25.309	0.350	0.217	1.08E-01	9.40E-06	1.76E-04	925.690
% у односу на А+.	<b>-9.69%</b>	<b>0.91%</b>	<b>-10.76%</b>	<b>0.32%</b>	<b>30.73%</b>	<b>15.89%</b>	<b>10.00%</b>
<b>Би+M<sub>KT</sub>+U=0.18</b>	22.984	0.425	0.258	1.11E-01	1.23E-05	2.07E-04	1145.132
% у односу на А+.	<b>-17.99%</b>	<b>22.40%</b>	<b>6.02%</b>	<b>3.33%</b>	<b>71.65%</b>	<b>35.92%</b>	<b>36.08%</b>

Табела ПА10: Утицај разградње поздера (+ΦO<sub>23%/75%</sub>) на потенцијал глобалног загревања (*GWP*) сценарија А+М<sub>КТ</sub>, А+М<sub>КТ</sub>+U=0.24/0.18 и Би+М<sub>КТ</sub>+U=0.24/0.18

	А+М <sub>КТ</sub>	Сценарио +ΦO <sub>23%/75%</sub>				
		А+М <sub>КТ</sub>	А+М <sub>КТ</sub> +U=0.24	А+М <sub>КТ</sub> +U=0.18	Би+М <sub>КТ</sub> +U=0.24	Би+М <sub>КТ</sub> +U=0.18
<i>GWP</i> kgCO <sub>2eq.</sub>	28.026	48.333	52.784	61.555	50.663	58.597
% у односу на Т	/	<b>72.46%</b>	<b>88.34%</b>	<b>119.63%</b>	<b>80.77%</b>	<b>109.08%</b>



## Прилог Б: Анализа инвентара за функционалну јединицу А

Јединични процеси преузети или искоришћени као основа из *Ecoinvent* базе података су приказани са пуним називом и географским контекстом (нпр. *transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER*).

**Табела ПБ1: Анализа инвентара за фазу производње (А1-А3) функционалне јединице А**

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Производња поздера	kg	30	Приказано у Табели ПБ6
Везивање CO <sub>2</sub> фотосинтезом индустријске конопље	kgCO <sub>2eq.</sub>	-43.438	Фактор везивања угљен диоксида по килограму поздера: -1.448kgCO <sub>2eq.</sub> Рачуна се користећи формулу (7). SM: 1, PSM: 0.4437, MM <sub>CO2</sub> : 44 g/mol, MM <sub>C</sub> : 12 g/mol
Производња везива	kg	60	Приказано у Табели ПБ15
Производња дрвене грађе	m <sup>3</sup>	0.015	Приказано у Табели ПБ24
Везивање CO <sub>2</sub> фотосинтезом дрвета	kgCO <sub>2eq.</sub>	-10.780	Фактор везивања угљен диоксида по килограму дрвене грађе: -1.597 Рачуна се користећи формулу (7). SM: 1, PSM: 0.495, MM <sub>CO2</sub> : 44 g/mol, MM <sub>C</sub> : 12 g/mol

**Табела ПБ2: Анализа инвентара за превоз материјала на локацију (А4)**

Процес	Јединица	Количина за ФЈ А	Образложење/Извор
Превоз упакованог поздера, 125km	t*km	4.138	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Подразумева превоз 30kg поздера за изградњу функционалне јединице А и 3.1kg амбалаже.
Превоз упакованог везива, 125km	t*km	7.721	( <i>transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Подразумева превоз 60kg везива за изградњу функционалне јединице А и 1.77kg амбалаже.
Превоз резане дрвене грађе, 125km	t*km	0.85	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Подразумева превоз 6.75kg дрвене грађе за изградњу функционалне јединице А и 0.002kg амбалаже.

**Табела ПБ3: Анализа инвентара за изградњу функционалне јединице А (А5)**

Процес	Јединица	Количина за ФЈ А	Образложење/Извор
Производња поздера да се надомести 5% отпада	kg	1.5	Производња поздера приказана у Табели ПБ6. Користи се фактор отпада од 5% као просечна вредност за <i>in situ</i> грађевинске производе (Nationale Milieu Database 2022).
Превоз поздера	t*km	0.208	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Производња везива да се надомести 5% отпада	kg	3	Производња везива приказана у Табели ПБ15.
Превоз везива	t*km	0.386	( <i>transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Производња дрвене грађе да се надомести 5% отпада	m <sup>3</sup>	0.00075	Производња дрвене грађе приказана у Табели ПБ24.
Превоз дрвене грађе	t*km	0.0425	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Примена мешалице	kWh	1.1	( <i>market group for electricity, low voltage, RS</i> ) Количина струје дефинисана на основу потрошње струје за мешање бетона од конопље и креча (4kWh/m <sup>3</sup> ) у постојећим истраживањима (Ip & Miller 2012, Lecompte, Levasseur & Maxime 2017 и Sinka et al. 2018).
Примена воде	kg	90	( <i>market for tap water, Europe without Switzerland</i> ) Потрошња воде је дефинисана према типичном односу за израду зида од бетона од конопље и креча (стабљика:везиво:вода, 1:2:3).
Превоз палета за откуп, просечна раздаљина 20km	t*km	0.0924	( <i>transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Превоз отпада до депоније, просечна раздаљина 20km	t*km	0.107	( <i>transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Претпоставља се да се сав отпад скупља заједно и превози на локалну несанитарну депонију.
Одлагање отпада	kg	5.33	Приказано у Табели ПБ14.
Утицај одлагања пластичне амбалаже	kg	0.242	( <i>treatment of waste polyethylene, open dump, wet infiltration class (500mm), GLO</i> )
Утицај одлагања папирне амбалаже	kg	0.252	( <i>treatment of waste graphical paper, open dump, wet infiltration class (500mm), GLO</i> )
Утицај одлагања дрвенстог отпада	kg	1.838	( <i>treatment of waste wood, untreated, open dump, wet infiltration class (500mm), GLO</i> ) Преузет <i>Ecoinvent</i> процес за еколошке утицаје депоновања дрвета. Еколошки показатељ за климатске промене је израчунат користећи формуле (11) до (15), док су вредности за остале показатеље преузети из <i>Ecoinvent</i> процеса.

Везани угљен диоксид у отпадном поздеру	kgCO <sub>2eq</sub> .	-2.172	Фактор везивања угљен диоксида по килограму поздера: -1.448kgCO <sub>2eq</sub> . Рачуна се користећи формулу (7). SM: 1, PSM: 0.44, MM <sub>CO2</sub> : 44 g/mol, MM <sub>C</sub> : 12 g/mol
Емисије гасова стаклене баште услед распадања поздера	kgCO <sub>2eq</sub> .	1.676	Рачуна се користећи формуле, (11) до (15). M <sub>T</sub> : 1.5kg, M <sub>F</sub> : 1, MCF: 0.6, DOC: 0.394, DOC <sub>f</sub> : 0.23, F: 0.5, MM <sub>CH4</sub> : 16g/mol, MM <sub>C</sub> : 12g/mol, M <sub>CH4</sub> : 0.054kg <sub>CH4</sub> , R <sub>CH4</sub> : 0kg <sub>CH4</sub> , OX: 0, CE: 0, F <sub>CO2</sub> : 0.5, DE: 0, CF <sub>CH4</sub> : 28
Везани угљен диоксид у отпадном дрвету	kgCO <sub>2eq</sub> .	-0.539	Фактор везивања угљен диоксида по килограму дрвене грађе: -1.597 Рачуна се користећи формулу (7). SM: 1, PSM: 0.495, MM <sub>CO2</sub> : 44 g/mol, MM <sub>C</sub> : (12 g/mol)
Емисије гасова стаклене баште услед распадања дрвене грађе	kgCO <sub>2eq</sub> .	0.181	Рачуна се користећи формуле, (11) до (15). M <sub>T</sub> : 0.334kg, M <sub>F</sub> : 1, MCF: 0.6, DOC: 0.436, DOC <sub>f</sub> : 0.1, F: 0.5, MM <sub>CH4</sub> : 16g/mol, MM <sub>C</sub> : 12g/mol, M <sub>CH4</sub> : 0.054kg <sub>CH4</sub> , R <sub>CH4</sub> : 0kg <sub>CH4</sub> , OX: 0, CE: 0, F <sub>CO2</sub> : 0.5, DE: 0, CF <sub>CH4</sub> : 28

**Табела ПБ4: Анализа инвентара за фазу коришћења функционалне јединице А (Б1-Б7)**

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Фактор карбонатизације везива	kgCO <sub>2eq</sub> .	-22.036	Фактор карбонатизације по килограму везива: -0.367kgCO <sub>2eq</sub> . Рачуна се користећи формулу (16). 60kg везива. Степен карбонатизације хидратисаног креча 82.5% и фактор карбонатизације хидрауличног креча 50%.
Фактор карбонатизације отпадног везива из фазе изградње	kgCO <sub>2eq</sub> .	-0.623	Фактор карбонатизације по килограму отпадног везива: -0.208kgCO <sub>2eq</sub> . Рачуна се користећи формулу (16). 3kg отпадног везива. Степен карбонатизације хидратисаног креча 50%.

**Табела ПБ5: Анализа инвентара за фазу одлагања функционалне јединице А (Ц1-Ц4)**

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Рушење објекта	m <sup>3</sup>	0.29	( <i>excavation, hydraulic digger, RER</i> )
Превоз дрвета на сагоревање, 20km	t*km	0.135	( <i>transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6, RER</i> )
Сагоревање дрвета	kg	6.75	( <i>treatment of waste wood, untreated, municipal incineration, CH</i> )
Емисије угљен диоксида услед сагоревања дрвета	kgCO <sub>2eq.</sub>	10.780	Сагоревањем дрвене грађе се емитује сав CO <sub>2</sub> везан фотосинтезом.
Превоз бетона од конопље и креч у центар за сортирање и рециклажу, 125km	t*km	12.031	( <i>transport, freight, lorry &gt;32 metric ton, EURO 6, RER</i> )
Сортирање отпада	kg	96.25	( <i>treatment of waste concrete, not reinforced, sorting plant, Europe without Switzerland</i> )
Превоз неупотребљивог бетона од конопље и креча, 20km	t*km	0.1925	( <i>transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6, RER</i> )
Одлагање неупотребљивог бетона од конопље и креча	kg	9.625	( <i>process-specific burdens, sanitary landfill, CH</i> ) 10% од сортираног грађевинског отпада.

**Табела ПБ6: Анализа инвентара за производњу упакованог поздера индустријске конопље**

Претпоставља се узгој домаће сорте Хелене са типичним приносом од 10т сламе по хектару.

Процес	Јединица	Количина по kg поздера	Количина за 30kg поздера	Образложење/Извор
Производња семена индустријске конопље	kg	0.00275	0.0825	Приказано у Табели ПБ7 За биомасу типично се сеје 50 kg семена по хектару.
Превоз семена индустријске конопље, 125km	t*km	3.44E-4	0.0103	( <i>light commercial vehicle, RER</i> ) Превоз лакшим теретним возилом 125km од института у Бачком Петровцу до локације.
Упаковано <i>NPK 15:15:15</i> ђубриво	kg	0.0231	0.693	Приказано у Табели ПБ8 Режим прихране 80kg <i>N</i> , 60kg <i>P</i> и 60kg <i>K</i> (укључује 5% отпада).
Упаковано <i>KAN 27%</i> ђубриво	kg	0.00462	0.139	Приказано у Табели ПБ9 Режим прихране 80kg <i>N</i> , 60kg <i>P</i> и 60kg <i>K</i> (укључује 5% отпада).
Превоз <i>NPK 15:15:15</i> ђубрива, 125km	t*km	0.00296	0.0888	( <i>transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Превоз <i>KAN 27%</i> ђубрива, 485km до локалног дистрибутера	t*km	0.00229	0.0686	( <i>transport, freight, lorry &gt;32t metric ton, EURO 5, RER</i> ) Произвиђач Кутина, Хрватска до границе Батровци: 208km Произвиђач Петфурдо, Мађарска до границе Хоргош: 262km Просечна раздаљина од произвођача: 235km (до границе) + 250km (до локалног дистрибутера)
Превоз <i>KAN 27%</i> ђубрива од дистрибутера до фарме, 20km	t*km	9.47E-5	0.00284	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Превоз ђубрива од фарме до њиве, 2km	t*km	5.54E-5	0.00166	( <i>transport, tractor and trailer, agricultural, RoW</i> ) Просечна раздаљина до њиве је дефинисана на основу личног пољопривредног газдинства.
Превоз отпадне амбалаже, 20km	t*km	2.67E-6	8.02E-5	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Превоз палета, 20km	t*km	1.16E-5	3.47E-4	( <i>transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Одлагање отпада	kg	1.33E-4	4.00E-3	Приказано у Табели ПБ14.
Утицај одлагања пластичне амбалаже	kg	1.22E-4	0.00367	( <i>treatment of waste polyethylene, open dump, wet infiltration class (500mm), GLO</i> )
Утицај одлагања папирне амбалаже	kg	1.10E-5	3.30E-4	( <i>treatment of waste graphical paper, open dump, wet infiltration class (500mm), GLO</i> )

Потрошња дизела за агротехнику	kg	0.00411	0.123	<i>(market for diesel, Europe without Switzerland)</i> Преузета потрошња дизела за просечан сценарио узгоја за биомасу из Де Беус и Пјотровски (de Beus & Piotrowski 2017). Додате емисије на основу фактора из Табеле ПБ13.
Емисије амоније (NH <sub>3</sub> )	kgNH <sub>3</sub>	9.24E-5	0.00277	Користе се фактори присутни у значајном делу литературе (van der Werf 2004, Boutin et al. 2006, van der Werf & Turunen 2008, Pretot, Collet & Garnier 2014 и Sinka et al. 2018). Подразумева се емисија 0.02kg амоније (NH <sub>3</sub> ) и 0.0125kg азот субоксида (N <sub>2</sub> O) по килограму примењеног азота, 0.01kg фосфата (PO <sub>4</sub> ) по килограму фосфата и укупно 30kg нитрата (NO <sub>3</sub> ).
Емисије азот субоксида (N <sub>2</sub> O)	kgN <sub>2</sub> O	5.78E-5	0.00173	
Емисије фосфата (PO <sub>4</sub> )	kgPO <sub>4</sub>	3.47E-5	0.00104	
Емисије нитрата (NO <sub>3</sub> )	kgNO <sub>3</sub>	0.00165	0.0495	
Утовар бала сламе	kg	1.65E-4	0.00495	<i>(market for diesel, Europe without Switzerland)</i> Потрошња горива дефинисана на основу потрошње у <i>Ecoinvent</i> процесу ( <i>bale loading, CH</i> ) и тежини бала од 305kg (de Beus & Piotrowski 2017). Додате емисије на основу фактора из Табеле ПБ13.
Превоз поздера (у слами) до прерађивача, 125km	t*km	0.0688	2.063	<i>(transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 5, RER)</i>
Прерада сламе индустријске конопље	kWh	0.0495	1.486	<i>(market for electricity, medium voltage, RS)</i> Примењују се подаци потрошње великог прерађивачког погона (300kWh за прераду 3330kg сламе) из извештаја Де Беус и Пјотровски (de Beus & Piotrowski 2017).
Примена дизела	kg	2.64E-4	0.00798	<i>(market for electricity, medium voltage, RS)</i> Примењују се подаци потрошње великог прерађивачког погона (1.6kg дизела за прераду 3330kg сламе) из извештаја Де Беус и Пјотровски (de Beus & Piotrowski 2017). Додате емисије на основу фактора из Табеле ПБ13.
Струја за паковање поздера	kWh	0.0031	0.093	<i>(market for electricity, medium voltage, RS)</i> Примењује се типична вредност од 0.0031kWh/kg производа из <i>Ecoinvent</i> базе података, за више различитих производа (опека, креч, малтери, плоче, камена вуна итд.).
Производња и превоз полиетиленског цака	kg	0.005	0.15	Приказано у Табели ПБ10. Цак од 0.1kg за паковање 20kg поздера.

Производња и превоз полиетиленске фолије за паковање	kg	0.00167	0.05	Приказано у Табели ПБ11. 0.5kg полиетиленске фолије за паковање палете.
Превоз палета, 125km	t*km	0.0125	0.375	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Палета од 29kg, 15 цакова по палети.
Одлагање упаковане поздера	сат	2.52E-4	0.00755	( <i>machine operation, diesel, &lt; 18.64 kW, low load factor, GLO</i> ) Одлагање упакованог и палетираног поздера у прерађивачком погону. Подразумева се рад виљушкара од 5 минута и тежина товара од 331kg.

**Табела ПБ7: Анализа инвентара за производњу 1kg семена индустријске конопље у Србији**

Претпоставља се узгој домаће сорте Хелене, која типично даје 1000kg зрна по хектару

Процес	Јединица	Количина по kg семена	Образложење/Извор
Упаковано <i>NPK 15:15:15</i> ђубриво	kg	0.07	Приказано у Табели ПБ8 Режим прихране 80kg <i>N</i> , 60kg <i>P</i> и 60kg <i>K</i> (укључује 5% отпада).
Упаковано <i>KAN 27.5%</i> ђубриво	kg	0.014	Приказано у Табели ПБ9 Режим прихране 80kg <i>N</i> , 60kg <i>P</i> и 60kg <i>K</i> (укључује 5% отпада).
Превоз ђубрива <i>NPK 15:15:15</i> , 80km до	t*km	0.00574	( <i>transport, freight, lorry &gt;32t metric ton, EURO 5, RER</i> ) Просечна раздаљина од произвођача ђубрива у Шапцу до релевантних одељења у Институту за ратарство и повртарство, Нови Сад.
Превоз ђубрива <i>KAN 27.5%</i> , 340km	t*km	0.00488	( <i>transport, freight, lorry &gt;32t metric ton, EURO 5, RER</i> ) Просечна раздаљина од 340km на основу раздаљина од 300km од произвођача у Кутини, Хрватска и 380km од произвођача у Петфурду, Мађарска.
Превоз ђубрива од фарме до њиве 5km	t*km	4.20E-4	( <i>transport, tractor and trailer, agricultural, RoW</i> ) Раздаљина дефинисана према раздаљини за превоз семена.
Превоз отпадне амбалаже, 20km	t*km	4.07E-7	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Превоз палета, 20km	t*km	3.50E-5	( <i>transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Одлагање отпада	kg	4.04E-4	Приказано у Табели ПБ14
Утицај одлагања пластичне амбалаже	kg	3.33E-5	( <i>treatment of waste polyethylene, open dump, wet infiltration class (500mm), GLO</i> )
Утицај одлагања папирне амбалаже	kg	3.71E-4	( <i>treatment of waste graphical paper, open dump, wet infiltration class (500mm), GLO</i> )
Потрошња дизела за агротехнику	kg	0.0139	( <i>market for diesel, Europe without Switzerland</i> ) Потрошња дизела дефинисана на основу потрошње у <i>Ecoinvent</i> процесима, <i>tillage, ploughing, CH, tillage, harrowing, by rotary harrow, CH, sowing, CH, tillage, rolling, CH, fertilising, by broadcaster, CH</i> и <i>combine harvesting, CH</i> . Додате емисије на основу фактора из Табеле ПБ13.
Емисије амоније (NH <sub>3</sub> )	kg	2.80E-4	Користе се фактори присутни у значајном делу литературе (van der Werf 2004, Boutin et al. 2006, van der Werf & Turunen 2008, Pretot, Collet & Garnier 2014 и Sinka et al. 2018). Подразумева се емисија 0.02kg амоније (NH <sub>3</sub> ) и 0.0125kg азот субоксида (N <sub>2</sub> O) по килограму примењеног азота, 0.01kg фосфата (PO <sub>4</sub> ) по килограму фосфата и укупно 30kg нитрата (NO <sub>3</sub> ).
Емисије азот субоксида (N <sub>2</sub> O)	kg	1.75E-4	
Емисије фосфата (PO <sub>4</sub> )	kg	1.05E-4	
Емисије нитрата (NO <sub>3</sub> )	kg	0.005	



Превоз зрна трактором у погон за прераду семена 5km	t*km	0.005	( <i>transport, tractor and trailer, agricultural, RoW</i> ) Просечна раздаљина дефинисана према потреби да се зрно превезе у погон за сушење и припрему семена у року од пола сата од вршења.
Струја за припрему и паковање семена	kWh	0.058	( <i>market group for electricity, medium voltage, RS</i> ) Потрошња струје дефинисана на основу процеса производње семена кукуруза ( <i>maize seed production, for sowing, GLO</i> ) у <i>Ecoinvent</i> бази података.
Производња цака за паковање семена	kg	0.004	Производња папирних цакова приказана у Табели ПБ12. Цак од 0.1kg за паковање 25kg семена.

**Табела ПБ8: Анализа инвентара за производњу 1kg ђубрива *NPK 15:15:15* у Србији**

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Производња <i>NPK 15:15:15</i> ђубрива	kg	1	( <i>NPK (15-15-15) fertiliser production, RER</i> )
Прилагођавање потрошње струје за Србију	kWh	0.02777	Додата разлика између утицаја производње струје за оригинални процес ( <i>market group for electricity, low voltage, RER</i> ) и утицаја производње струје у Србији ( <i>market for electricity, low voltage, RS</i> ).
Производња амбалаже и паковање	kg	1	( <i>market for packaging, for fertilisers, GLO</i> )

**Табела ПБ9: Анализа инвентара за производњу 1kg Калцијум амонијум нитрата (*KAN 27.5%*) у Хрватској или Мађарској**

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Производња <i>KAN 27.5%</i> ђубрива	kg	1	( <i>calcium ammonium nitrate production, RER</i> )
Производња амбалаже и паковање	kg	1	( <i>market for packaging, for fertilisers, GLO</i> )

**Табела ПБ10: Анализа инвентара за производњу 1kg пластичног цака**

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Производња ПЕ гранулата	kg	1.02	( <i>market for polyethylene, low density, granulate, GLO</i> )
Производња цака	kg	1.02	( <i>stretch blow moulding, RER</i> )
Прилагођавање потрошње струје за Србију	kWh	2.601	Додата разлика између утицаја производње струје за оригинални процес ( <i>market group for electricity, medium voltage, RER</i> ) и утицаја производње струје у Србији ( <i>market for electricity, medium voltage, RS</i> ).
Превоз	t*km	0.125	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> )

**Табела ПБ11: Анализа инвентара за производњу 1kg пластичне фолије**

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Производња пластичне фолије	kg	1	<i>(packaging film production, low density polyethylene, RER)</i>
Прилагођавање потрошње струје за Србију	kWh	0.673	Додата разлика између утицаја производње струје за оригинални процес ( <i>market group for electricity, medium voltage, RER</i> ) и утицаја производње струје у Србији ( <i>market for electricity, medium voltage, RS</i> ).
Превоз	t*km	0.125	<i>(transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER)</i>

**Табела ПБ12: Анализа инвентара за производњу 1kg папирног цака**

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Производња папирног цака	kg	1	<i>(paper sack production, RER)</i>
Прилагођавање потрошње струје за Србију	kWh	0.151	Додата разлика између утицаја производње струје за оригинални процес ( <i>market group for electricity, medium voltage, RER</i> ) и утицаја производње струје у Србији ( <i>market for electricity, medium voltage, RS</i> ).
Превоз	t*km	0.125	<i>(transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER)</i>
Везивање CO <sub>2</sub>	kgCO <sub>2</sub> eq.	-0.610	Везани CO <sub>2</sub> преузет из процеса ( <i>paper sack production, RER</i> ).

**Табела ПБ13: Директне емисије штетних материја у ваздух услед покретног сагоревања дизела у пољопривредним машинама**

Материја	Формула	Емисије (kg/kg дизела)	Образложење/Извор
Угљен диоксид	CO <sub>2</sub>	3.12	Фактори преузети из инвентара за пољопривредне процесе из <i>Ecoinvent</i> базе података (Nemecek & Kägi 2007)
Метан	CH <sub>4</sub>	1.29E-5	
Азот субоксид	N <sub>2</sub> O	1.2E-4	
Сумпор диоксид	SO <sub>2</sub>	0.00101	
Угљен моноксид	CO	0.008	
Бензен	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	7.30E-6	
Азотни оксиди	NO <sub>x</sub>	0.0395	
Амонијак	NH <sub>3</sub>	2.0E-5	
Олово	Pb	0	
Кадмијум	Cd	1.00E-8	
Хромијум	Cr	5.00E-8	
Бакар	Cu	1.70E-6	
Никл	Ni	5.00E-8	
Цинк	Zn	1.00E-6	
Селен	Se	1.00E-8	
Бензо(а)пирен	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	3.00E-8	

**Табела ПБ14: Анализа инвентара за процес одлагања 1kg отпада**

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Потрошња дизела	MJ	0.0467	( <i>market for diesel, burned in building machine, GLO</i> ) Потрошња дефинисана на основу процеса одлагања на несанитарну депонију из <i>Ecoinvent</i> базе података.
Рад машине	m <sup>3</sup>	3.17E-4	( <i>market for excavation, skid-steer loader, GLO</i> ) Потрошња дефинисана на основу процеса одлагања на несанитарну депонију из <i>Ecoinvent</i> базе података

**Табела ПБ15: Анализа инвентара за производњу везива за бетон од конопље и креча**

Процес	Јединица	Количина по kg везива	Количина за 60kg везива	Образложење/Извор
Производња хидратисаног креча (CL90S)	kg	0.75	45	Приказано у Табели ПБ18
Превоз хидратисаног креча (CL90S), 125km	t*km	0.0938	4.219	( <i>transport, freight, lorry &gt;32 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Хидратисани креч се превози у цистерни и испумпава у силос.
Истоварање хидратисаног креча у силос	сат	1.79E-5	8.04E-4	( <i>machine operation, diesel, &gt;= 18.64 kW and &lt; 74.57 kW, steady-state, GLO</i> ) Претпоставља се степен извлачења материјала од 1.4m <sup>3</sup> по минути (Mineral Products Association 2011)
Производња природног хидрауличног креча (NHL5)	kg	0.15	9	Приказ инвентара у табели ПБ19
Превоз природног хидрауличног креча (NHL5), 1065km	t*km	0.160	1.438	( <i>transport, freight, lorry &gt;32 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Раздаљине од идентификованих произвођача из Северне Италије до граничног прелаза Батровци: <i>Gruppo Mineira San Romedio, Predaia (817km), Calce Raffinata, Savignano sul Panaro (824km), Brigladiori Fornace Calce, Saint Arcangelo di Romagna (897km), Villaga, Fornace (721km)</i> . Просечна раздаљина: 815km (до границе) + 250km
Истоварање хидрауличног креча у силос	сат	2.55E-6	2.30E-5	( <i>machine operation, diesel, &gt;= 18.64 kW and &lt; 74.57 kW, steady-state, GLO</i> ) Претпоставља се степен извлачења материјала од 1.4m <sup>3</sup> по минути (Mineral Products Association 2011)
Производња метакаолина	kg	0.1	6	Приказ инвентара у табели ПБ21
Превоз метакаолина, 650km	t*km	0.065	0.39	( <i>transport, freight, lorry &gt;32 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Метакаолин из Ветова, Бугарска. Раздаљина: 400km (до границе Градина) + 250km
Истоварање метакаолина у силос	сат	1.23E-6	7.41E-6	( <i>machine operation, diesel, &gt;= 18.64 kW and &lt; 74.57 kW, steady-state, GLO</i> ) Претпоставља се степен извлачења материјала од 1.4m <sup>3</sup> по минути (Mineral Products Association 2011)

Производња везива	kWh	0.0278	1.668	( <i>market for electricity, medium voltage, RS</i> ) Потрошња струје се дефинише на основу потрошње струје за мешање кречног малтера у <i>Ecoinvent</i> бази података ( <i>lime mortar production, CH</i> ).
Производња и превоз папирног цака	kg	0.004	0.24	Приказано у Табели ПБ12 Папирни цак од 0.1kg за паковање 25kg везива.
Струја за паковање везива	kWh	0.0031	0.186	( <i>market for electricity, medium voltage, RS</i> ) Потрошња струје дефинисана на основу <i>Ecoinvent</i> процеса за паковање производа од креча ( <i>packing lime product, CH</i> ).
Производња и превоз полиетиленске фолије за паковање	kg	5.00E-4	0.03	Приказано у Табели ПБ10 0.5kg полиетиленске фолије за паковање палете.
Превоз палета, 125km	t*km	0.00313	0.188	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Палета од 25kg, 40 цакова по палети.
Одлагање упакованог везива	сат	8.09E-5	0.00485	( <i>machine operation, diesel, &lt; 18.64 kW, low load factor, GLO</i> ) Одлагање упакованог и палетираног везива у прерађивачком погону. Подразумева се рад виљушкарa од 5 минута и тежина товара од 1029.5kg.

**Табела ПБ16: Анализа инвентара за производњу 1kg смрвљеног кречњака**

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Екскавација камена	kg	1	( <i>limestone quarry operation, RoW</i> )
Превоз камена до дробилице, 4km	t*km	0.004	( <i>market for transport, freight, lorry, unspecified, RER</i> ) Процена на основу сателитских снимака каменолома у Јелен До и Кучеву.
Дробљење камена	kWh	0.0036	( <i>market for electricity, high voltage, RS</i> ) Потрошња струје се дефинише на основу процеса за дробљење кречњака ( <i>limestone production, crushed, washed, CH</i> ) у <i>Ecoinvent</i> бази података.
	kWh	0.0036	( <i>market for electricity, medium voltage, RS</i> ) Исто
Вода	kg	0.188	( <i>market for tap water, Europe without Switzerland</i> ) Потрошња воде се дефинише на основу процеса за дробљење кречњака ( <i>limestone production, crushed, washed, CH</i> ) у <i>Ecoinvent</i> бази података.

**Табела ПБ17: Анализа инвентара за производњу 1kg живог креча**

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Смрвљен кречњак	kg	1.73	Приказано у Табели ПБ16 Количина кречњака дефинисана на основу процеса ( <i>quicklime production, in pieces, loose, CH</i> ) из <i>Ecoinvent</i> базе података.
Гориво за печење кречњака, природни гас	m <sup>3</sup>	0.107	Допремање гаса приказано у Табели ПБ22. Према подацима произвођача ( <i>Maerz Ofenbau n.d.</i> ) неопходно је применити 3.48 до 3.85MJ топлотне енергије за производњу једног килограма живог креча. Претпоставља се примена 3.67MJ топлотне енергије. Доња топлотна вредност природног гаса доступног у Србији је 34.432MJ/m <sup>3</sup> ( <i>Srbijagas n.d.</i> ). Емисије услед сагоревања природног гаса су дефинисане у Табели ПБ22.
Печење кречњака	kWh	0.035	( <i>market for electricity, high voltage, RS</i> ) Према произвођачу пећи ( <i>Maerz Ofenbau n.d.</i> ) потрошња струје варира од 25 до 45kWh по тони живог креча у зависности од гранулације кречњака, горива и надморске висине пећи.
Емисије CO <sub>2</sub> приликом декарбонатизације	kgCO <sub>2eq.</sub>	0.719	Рачуна се користећи формулу (9). <i>M<sub>K</sub></i> : 1.73kg, <i>M<sub>CaCO3</sub></i> : 0.945, <i>MM<sub>CO2</sub></i> : 44g/mol, <i>MM<sub>CaCO3</sub></i> : 100g/mol
Генерална потрошња дизела на локацији	MJ	0.0148	( <i>market for diesel, burned in building machine, GLO</i> ) Потрошња дизела током процеса, се дефинише на основу уноса из <i>Ecoinvent</i> процеса ( <i>quicklime production, in pieces, loose, RoW</i> ).

**Табела ПБ18: Анализа инвентара за производњу хидратисаног креча (CL90S)**

Процес	Јединица	Количина за 1kg хидратисаног креча	Количина за ФЈ А	Образложење/Извор
Живи креч	kg	0.77	34.65	Табела ПБ17 Количина живог креча дефинисана на основу процеса ( <i>lime production, hydrated, loose, CH</i> ) из <i>Ecoinvent</i> базе података.
Гашење, млевење и лагровање креча	kWh	0.00636	0.2862	( <i>market for electricity, high voltage, RS</i> ) Потрошња струје се дефинише на основу процеса за производњу хидратисаног креча ( <i>lime production, hydrated, loose, CH</i> ).
	kWh	0.00636	0.2862	( <i>market for electricity, medium voltage, RS</i> ) Исто
Вода за гашење живог креча	kg	0.602	27.09	( <i>market for tap water, Europe without Switzerland</i> ) Унос воде је дефинисан на основу процеса за производњу хидратисаног креча ( <i>lime production, hydrated, loose, CH</i> ) из <i>Ecoinvent</i> базе података.

**Табела ПБ19: Анализа инвентара за производњу хидрауличног креча (NHL5)**

Процес	Јединица	Количина за 1kg NHL5	Количина за ФЈ А	Образложење/Извор
Припремљен камен	kg	1.42	12.78	<i>(market for limestone, crushed, washed, CH)</i> Количина камена је дефинисана на основу процеса <i>(lime production, hydraulic, CH)</i> из <i>Ecoinvent</i> базе података.
Гориво за печење кречњака, битуменски угаљ	kg	0.134	1.206	<i>(market for hard coal, Europe, without Russia and Turkey)</i> Два Италијанска произвођача хидрауличног креча ( <i>Calce Raffinata</i> и <i>La Banca della Calce</i> ) указују да користе угаљ за печење кречњака. Према Лајвсију ( <i>Livesey 2010</i> ) неопходно је применити 800kcal топлотне енергије (3.35MJ/kg) по килограму хидрауличног креча. Преузета је просечна доња топлотна вредност од 25MJ/kg за мрки угаљ примењен у Италија ( <i>IEA 2018</i> ). Емисије услед сагоревања мрког угља су дефинисане у Табели ПБ23.
Струја за пећ	kWh	0.018	0.162	Препоставља се доња граница потрошње за вертикалне пећи ( <i>Schorcht et al. 2013</i> ).
Емисије угљен диоксида приликом декарбонатизације	kgCO <sub>2</sub> eq.	0.327	2.946	Изречено користећи формулу ц. <i>Мк</i> : 1.42kg, <i>М</i> <sub>CaCO<sub>3</sub></sub> : 0.70, <i>Н</i> <sub>CaCO<sub>3</sub></sub> : 0.25 <i>ММ</i> <sub>CO<sub>2</sub></sub> : 44g/mol, <i>ММ</i> <sub>CaCO<sub>3</sub></sub> : 100g/mol
Гашење, млевење и лагеревање креча	kWh	0.00636	0.0572	<i>(market for electricity, high voltage, IT)</i> Потрошња струје се дефинише на основу потрошње струје за прераду живог креча <i>(lime production, hydrated, loose, CH)</i> у <i>Ecoinvent</i> бази података.
	kWh	0.00636	0.0572	<i>(market for electricity, medium voltage, IT)</i> Исто
Потрошња воде за гашење	kg	0.128	1.153	<i>(market for tap water, Europe without Switzerland)</i> Унос воде дефинисан према уносу за гашење живог креча при прављењу хидратисаног креча на основу релативног садржаја портландита.
Генерална потрошња дизела на локацији	MJ	0.0134	0.121	<i>(market for diesel, burned in building machine, GLO)</i> Генерална потрошња дизела током процеса, на основу уноса из <i>Ecoinvent</i> процеса за производњу хидрауличног креча <i>(lime production, hydraulic, RoW)</i> .



**Табела ПБ20: Анализа инвентара за производњу 1kg каолинске глине**

Процес	Јединица	Количина за 1kg метакаолина	Образложење/Извор
Производња каолинске глине	kg	1	<i>(kaolin production, RER)</i> .
Прилагођавање струје за производњу у Бугарској	kWh	0.18	Додата разлика између утицаја производње струје за оригинални процес <i>(market group for electricity, medium voltage, RER)</i> и утицаја производње струје у Бугарској <i>(market for electricity, medium voltage, BG)</i> .

**Табела ПБ21: Анализа инвентара за производњу метакаолина**

Процес	Јединица	Количина за 1kg метакаолина	Количина за ФЈ А	Образложење/Извор
Производња припремљене каолинске глине	kg	1.16	6.96	Табела ПБ20 Количина глине потребна за производњу килограма метакаолина је дефинисана према истраживању Хит, Пејн и Мекманус (Heath, Paine & McManus 2014).
Превоз каолинске глине	t*km	0.007	0.042	<i>(transport, freight, lorry, all sizes, EURO5 to generic market for transport, freight, lorry, unspecified, RER)</i>
Гориво за печење каолинске глине, природни гас	m <sup>3</sup>	0.0641	0.385	Потребно је применити 2.5MJ топлотне енергије (Heath, Paine & McManus 2014). Преузимају се подаци за допрему гаса за Грчку <i>(market for natural gas, high pressure, GR)</i> , као најближа територија Бугарској, доступна у <i>Ecoinvent</i> бази података. Преузима се доња топлотна вредност природног гаса из процеса 39MJ/m <sup>3</sup> . Емисије услед сагоревања природног гаса су дефинисане у Табели ПБ22.
Потрошња струје за процесе производње метакаолина	kWh	0.025	0.15	<i>(market for electricity, medium voltage, BG)</i> Потрошња струја је дефинисана према процесу за калцинацију глине <i>(calcined clay production, RoW)</i> из <i>Ecoinvent</i> базе података.
Генерална потрошња дизела на локацији	MJ	0.0134	0.0804	<i>(market for diesel, burned in building machine, GLO)</i> Генерална потрошња дизела током процеса, на основу уноса из <i>Ecoinvent</i> процеса за производњу хидрауличног креча <i>(lime production, hydraulic, RoW)</i> .

**ПБ22: Допремање 1m<sup>3</sup> гаса**

Процес	Јединица	Количина	Извор
Испостава природног гаса из Русије	m <sup>3</sup>	1	Преузимају се подаци за допрему гаса за Мађарску ( <i>market for natural gas, high pressure, HU</i> ), као најближа територија Србији, доступна у <i>Ecoinvent</i> бази података.
Прилагођавање потрошње струје за Србију	kWh	2.98E-3	Додата разлика између утицаја производње струје за оригинални процес ( <i>market group for electricity, medium voltage, HU</i> ) и утицаја производње струје у Србији ( <i>market for electricity, medium voltage, RS</i> ).

**ПБ23: Емисије услед стационарног сагоревања 1MJ природног гаса**

Материја	Формула	Количина	Извор
Угљен диоксид	CO <sub>2</sub>	0.0561	IPCC фактори емисија гасова стаклене баште (Gómez et al. 2006)
Метан	CH <sub>4</sub>	1.00E-6	
Азот субоксид	N <sub>2</sub> O	1.00E-7	
Ацелтахид	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O	1.00E-10	Извештај за <i>Ecoinvent</i> базу података. (Feist-Emmeneger, Heck & Jungbluth 2007)
Ацетатна киселина	CH <sub>3</sub> COOH	1.50E-7	
Бензен	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	4.00E-7	
Бутан	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	7.00E-7	
Угљен монооксид	CO	2.10E-6	
Формалдехид	CH <sub>2</sub> O	1.00E-7	
Азотни оксиди	NO <sub>x</sub>	1.79E-5	
Пентан	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	1.20E-6	
Пропан	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	2.00E-7	
Пропионска киселина	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	2.00E-8	
Сумпор диоксид	SO <sub>2</sub>	5.50E-7	
Толуен	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	2.00E-7	

**ПБ23: Емисије услед стационарног сагоревања 1MJ мрког угља**

Материја	Формула	Количина	Извор
Угљен диоксид	CO <sub>2</sub>	0.0946	IPCC фактори емисија гасова стаклене баште (Gómez et al. 2006)
Метан	CH <sub>4</sub>	1.00E-6	
Азот субоксид	N <sub>2</sub> O	1.50E-6	
Бензен	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	5.00E-7	Извештај за <i>Ecoinvent</i> базу података. (Dones, Bauer & Röder 2007)
Етан	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	1.50E-6	
Угљен монооксид	CO	1.00E-4	
Формалдехид	CH <sub>2</sub> O	8.00E-8	
Азотни оксиди	NO <sub>x</sub>	2.00E-4	
Фосфор	P	6.32E-8	
Пропан	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	1.00E-6	
Сумпор диоксид	SO <sub>2</sub>	5.00E-4	
Толуен	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	1.00E-7	

**Табела ПБ24: Производња 1m<sup>3</sup> суве резане грађе од меког дрвета**

Процес	Јединица	За 1m <sup>3</sup> резане дрвене грађе	Количина за ФЈ А	Образложење/Извор
Шумарство и сеча дрвета	m <sup>3</sup>	1.658	0.0249	Преузет је <i>Ecoinvent</i> процес за шумарство и сечу смреке ( <i>softwood forestry, spruce, sustainable forest management, RoW</i> ). Количина сировог дрвета неопходна за 1m <sup>3</sup> суве резане грађе је детерминисана на основу процеса за тестерисање (1.461kg/m <sup>3</sup> зеленог дрвета) ( <i>sawing, softwood, Europe without Switzerland</i> ), сушење (1.087/m <sup>3</sup> резаног дрвета) ( <i>beam, softwood, raw, kiln drying to u=10%, Europe without Switzerland</i> ) и стругање дрвета (1.044kg/m <sup>3</sup> сушене грађе) ( <i>planing, beam, softwood, u=10%, Europe without Switzerland</i> ).
Превоз дрвета до пилане, 125km	t*km	133.262	1.999	( <i>transport, freight, lorry &gt;32 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Тежина зеленог дрвета (643kg/m <sup>3</sup> ) се преузима из процеса ( <i>softwood forestry, spruce, sustainable forest management, RoW</i> ).
Потрошња струје приликом тестерисања	kWh	20.413	0.306	( <i>market for electricity, medium voltage, RS</i> ) ( <i>market for diesel, burned in building machine, GLO</i> ) ( <i>market for lubricating oil, RER</i> )
Потрошња дизела приликом тестерисања	MJ	36.341	0.545	Потрошња струје (17.988kWh), дизела (32.023MJ) и уља (0.0979kg) се дефинишу на основу потрошње струје за процес тестерисања дрвета ( <i>sawing, softwood, Europe without Switzerland</i> ).
Потрошња уља приликом тестерисања	kg	0.111	0.00167	Према процесу ( <i>beam, softwood, raw, kiln drying to u=10%, Europe without Switzerland</i> ) потребно је 1.087m <sup>3</sup> резане грађе за производњу 1m <sup>3</sup> необрађене сушене грађе.
Сушење грађе у пећи	kWh	156.6	2.349	( <i>market for electricity, medium voltage, RS</i> ) Потрошња струје за сушење грађе (150kWh/m <sup>3</sup> ) је дефинисана на основу података домаћег произвођача сушара (Nigos n.d.), за аутоматизовану кондензациону сушару са топлотном пумпом (типична потрошња 100-200kWh/m <sup>3</sup> дрвене грађе). Према процесу за стругање меког дрвета ( <i>planing, beam, softwood, u=10%, Europe without Switzerland</i> ) из <i>Ecoinvent</i> базе података, за производњу 1m <sup>3</sup> обрађене грађе потребно је 1.044m <sup>3</sup> необрађене сушене грађе.

Производња разхладног средства, R134a	kg	0.00631	9.47E-5	( <i>market for refrigerant r134a, GLO</i> ) Количина расхлађивача r134a процењена на основу процеса ( <i>heat production, air-water heat pump 10kW, Europe without Switzerland</i> ).
Емисије гаса HFC-134a услед рада топлотне пумпе	kgCO <sub>2</sub> eq.	8.203	0.123	Емисија гаса је дефинисана на основу процеса ( <i>heat production, air-water heat pump 10kW, Europe without Switzerland</i> ). Према CML-IA методологији 1kg HFC-134a једнак је 1300kg CO <sub>2</sub> .
Превоз дрвета на стругање	сат	0.0574	8.61E-4	( <i>machine operation, diesel, &lt; 18.64 kW, low load factor, GLO</i> ) Подразумева се рад виљушкарa од 10 минута и тежина товара од 3m <sup>3</sup> (1350kg).
Стругање грађе	kWh	8.664	0.130	( <i>market for electricity, medium voltage, RS</i> ) Потрошња струје се дефинише на основу потрошње струје за процес стругања сушене дрвене грађе ( <i>planing, beam, softwood, u=10%, Europe without Switzerland</i> ) у Ecoinvent бази података.
ПЕТ траке за паковање	kg	0.1	0.0015	Производња трака за паковање приказана у Табели ПБ25.
Паковање грађе	kWh	1.395	0.0209	( <i>market for electricity, medium voltage, RS</i> ) Преузима се стандардна вредност од 0.0031kg/kWh за паковање из Ecoinvent базе података.
Превоз	сат	0.055	0.000825	( <i>machine operation, diesel, &lt; 18.64 kW, low load factor, GLO</i> ) Подразумева се рад виљушкарa од 10 минута и тежина товара од 3m <sup>3</sup> (1350kg).

**Табела ПБ25: Производња 1kg ПЕТ трака**

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Производња гранулата	kg	1	( <i>market for polyethylene terephthalate, granulate, amorphous, GLO</i> )
Производња трака	kg	1	( <i>weaving of synthetic fibre, for industrial use, GLO</i> )
Прилагођавање потрошње струје за Србију	kWh	0.733	Додата разлика између утицаја производње струје за оригинални процес ( <i>market group for electricity, medium voltage, GLO</i> ) и утицаја производње струје у Србији ( <i>market for electricity, medium voltage, RS</i> ).
Превоз	t*km	0.125	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> )

**Табела ПБ26: Анализа инвентара за фазу производње (А1-А3) сценарија П**

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Производња поздера	kg	30	Приказано у Табели ПБ6
Везивање CO <sub>2</sub> фотосинтезом индустријске конопље	kgCO <sub>2eq.</sub>	-40.462	Фактор везивања угљен диоксида по килограму поздера: -1.349kgCO <sub>2eq.</sub> Рачуна се користећи формулу (7). SM: 1, PSM: 0.4437, MM <sub>CO2</sub> : 44 g/mol, MM <sub>C</sub> : 12 g/mol
Производња везива	kg	60	Приказано у Табели ПБ15
Производња дрвене грађе	m <sup>3</sup>	0.015	Приказано у Табели ПБ24
Везивање CO <sub>2</sub> фотосинтезом дрвета	kgCO <sub>2eq.</sub>	-10.780	Фактор везивања угљен диоксида по килограму дрвене грађе: -1.597 Рачуна се користећи формулу (7). SM: 1, PSM: 0.495, MM <sub>CO2</sub> : 44 g/mol, MM <sub>C</sub> : 12 g/mol

**Табела ПБ27: Анализа инвентара за превоз материјала на локацију (А4) у Сценарију П**

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Превоз упакованог поздера, 180km	t*km	5.958	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Подразумева превоз 30kg поздера за изградњу функционалне јединице А и 3.1kg амбалаже.
Превоз упакованог везива, 180km	t*km	11.119	( <i>transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Подразумева превоз 60kg везива за изградњу функционалне јединице А и 1.77kg амбалаже.
Превоз резане дрвене грађе, 180km	t*km	1.224	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Подразумева превоз 6.75kg дрвене грађе за изградњу функционалне јединице А и 0.002kg амбалаже.

**Табела ПБ28: Анализа инвентара за изградњу сценарија II (A5)**

Процес	Јединица	Количина за ФЈ А	Образложење/Извор
Производња поздера да се надомести 5% отпада	kg	3	Производња поздера приказана у Табели ПБ6. Користи се фактор отпада од 5% као просечна вредност за <i>in situ</i> грађевинске производе (NMD 2020).
Превоз поздера, 180km	t*km	0.598	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Производња везива да се надомести 5% отпада	kg	6	Производња везива приказана у Табели ПБ15.
Превоз везива, 180km	t*km	1.112	( <i>transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Производња дрвене грађе да се надомести 5% отпада	m <sup>3</sup>	0.0015	Производња дрвене грађе приказана у Табели ПБ24.
Превоз дрвене грађе, 180km	t*km	0.122	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Примена мешалице	kWh	1.1	( <i>market group for electricity, low voltage, RS</i> ) Количина струје дефинисана на основу потрошње струје за мешање бетона од конопље и креча (4kWh/m <sup>3</sup> ) у постојећим истраживањима (Ip & Miller 2012, Lecompte, Levasseur & Maxime 2017 и Sinka et al. 2018).
Примена воде	kg	90	( <i>market for tap water, Europe without Switzerland</i> ) Потрошња воде је дефинисана према типичном односу за израду зида од бетона од конопље и креча (стабљика:везиво:вода, 1:2:3).
Превоз палета за откуп, просечна раздаљина 20km	t*km	0.0968	( <i>transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Превоз отпада до депоније, просечна раздаљина 20km	t*km	0.204	( <i>transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Претпоставља се да се сав отпад скупља заједно и превози на локалну несанитарну депонију.
Одлагање отпада	kg	10.19	Приказано у Табели ПБ14.
Утицај одлагања пластичне амбалаже	kg	0.253	( <i>treatment of waste polyethylene, open dump, wet infiltration class (500mm), GLO</i> )
Утицај одлагања папирне амбалаже	kg	0.264	( <i>treatment of waste graphical paper, open dump, wet infiltration class (500mm), GLO</i> )
Утицај одлагања дрвенстог отпада	kg	3.675	( <i>treatment of waste wood, untreated, open dump, wet infiltration class (500mm), GLO</i> ) Преузет <i>Ecoinvent</i> процес за еколошке утицаје депоновања дрвета. Еколошки показатељ за климатске промене је израчунат користећи формуле (11) до (15), док су вредности за остале показатеље преузети из <i>Ecoinvent</i> процеса.
Везани угљен диоксид у отпадном поздеру	kgCO <sub>2eq.</sub>	-4.046	Фактор везивања угљен диоксида по килограму поздера: -1.349kgCO <sub>2eq.</sub>

			Рачуна се користећи формулу (7). SM: 1, PSM: 0.44, MM <sub>CO2</sub> : 44 g/mol, MM <sub>C</sub> : 12 g/mol
Емисије гасова стаклене баште услед распадања поздера	kgCO <sub>2eq</sub> .	3.122	Рачуна се користећи формуле, (11) до (15). M <sub>T</sub> : 1.5kg, M <sub>F</sub> : 1, MCF: 0.6, DOC: 0.394, DOC <sub>F</sub> : 0.23, F: 0.5, MM <sub>CH4</sub> : 16g/mol, MM <sub>C</sub> : 12g/mol, M <sub>CH4</sub> : 0.054kg <sub>CH4</sub> , R <sub>CH4</sub> : 0kg <sub>CH4</sub> , OX: 0, CE: 0, F <sub>CO2</sub> : 0.5, DE: 0, CF <sub>CH4</sub> : 28
Везани угљен диоксид у отпадном дрвету	kgCO <sub>2eq</sub> .	-1.078	Фактор везивања угљен диоксида по килограму дрвене грађе: -1.597 Рачуна се користећи формулу (7). SM: 1, PSM: 0.495, MM <sub>CO2</sub> : 44 g/mol, MM <sub>C</sub> : (12 g/mol)
Емисије гасова стаклене баште услед распадања дрвене грађе	kgCO <sub>2eq</sub> .	0.362	Рачуна се користећи формуле, (11) до (15). M <sub>T</sub> : 0.334kg, M <sub>F</sub> : 1, MCF: 0.6, DOC: 0.436, DOC <sub>F</sub> : 0.1, F: 0.5, MM <sub>CH4</sub> : 16g/mol, MM <sub>C</sub> : 12g/mol, M <sub>CH4</sub> : 0.054kg <sub>CH4</sub> , R <sub>CH4</sub> : 0kg <sub>CH4</sub> , OX: 0, CE: 0, F <sub>CO2</sub> : 0.5, DE: 0, CF <sub>CH4</sub> : 28

**Табела ПБ29: Анализа инвентара за фазу коришћења сценарија П (Б1-Б7)**

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Фактор карбонатизације везива	kgCO <sub>2eq</sub> .	-19.872	Фактор карбонатизације по килограму везива: -0.331kgCO <sub>2eq</sub> . Рачуна се користећи формулу (16). 60kg везива. Степен карбонатизације хидратисаног креча 75% и фактор карбонатизације хидрауличног креча 50%.
Фактор карбонатизације отпадног везива из фазе изградње	kgCO <sub>2eq</sub> .	-0.623	Фактор карбонатизације по килограму отпадног везива: -0.208kgCO <sub>2eq</sub> . Рачуна се користећи формулу (16). 3kg отпадног везива. Степен карбонатизације хидратисаног креча 50%.

**Табела ПБ30: Анализа инвентара за фазу одлагања сценарија П (Ц1-Ц4)**

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Рушење објекта	m <sup>3</sup>	0.29	( <i>excavation, hydraulic digger, RER</i> )
Превоз дрвета на сагоревање, 20km	t*km	0.135	( <i>transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6, RER</i> )
Сагоревање дрвета	kg	6.75	( <i>treatment of waste wood, untreated, municipal incineration, CH</i> )
Емисије угљен диоксида услед сагоревања дрвета	kgCO <sub>2eq.</sub>	10.780	Сагоревањем дрвене грађе се емитује сав CO <sub>2</sub> везан фотосинтезом.
Превоз бетона од конопље и креч у центар за сортирање и рециклажу, 125km	t*km	12.031	( <i>transport, freight, lorry &gt;32 metric ton, EURO 6, RER</i> )
Сортирање отпада	kg	96.25	( <i>treatment of waste concrete, not reinforced, sorting plant, Europe without Switzerland</i> )
Превоз неупотребљивог бетона од конопље и креча, 20km	t*km	0.1925	( <i>transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6, RER</i> )
Одлагање неупотребљивог бетона од конопље и креча	kg	9.625	( <i>process-specific burdens, sanitary landfill, CH</i> ) 10% од сортираног грађевинског отпада.

**Табела ПБ31: Анализа инвентара за фазу производње (А1-А3) сценарија О**

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Производња поздера	kg	30	Приказано у Табели ПБ6
Везивање CO <sub>2</sub> фотосинтезом индустријске конопље	kgCO <sub>2eq.</sub>	-46.405	Фактор везивања угљен диоксида по килограму поздера: -1.547kgCO <sub>2eq.</sub> Рачуна се користећи формулу (7). SM: 1, PSM: 0.4437, MM <sub>CO2</sub> : 44 g/mol, MM <sub>C</sub> : 12 g/mol
Производња везива	kg	60	Приказано у Табели ПБ15
Производња дрвене грађе	m <sup>3</sup>	0.015	Приказано у Табели ПБ24
Везивање CO <sub>2</sub> фотосинтезом дрвета	kgCO <sub>2eq.</sub>	-10.780	Фактор везивања угљен диоксида по килограму дрвене грађе: -1.597 Рачуна се користећи формулу (7). SM: 1, PSM: 0.495, MM <sub>CO2</sub> : 44 g/mol, MM <sub>C</sub> : 12 g/mol



**Табела ПБ32:Анализа инвентара за превоз материјала на локацију (А4) у сценарију О**

Процес	Јединица	Количина за ФЈ А	Образложење/Извор
Превоз упакованог поздера, 70km	t*km	2.317	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Подразумева превоз 30kg поздера за изградњу функционалне јединице А и 3.1kg амбалаже.
Превоз упакованог везива, 70km	t*km	4.324	( <i>transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Подразумева превоз 60kg везива за изградњу функционалне јединице А и 1.77kg амбалаже.
Превоз резане дрвене грађе, 70km	t*km	0.476	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Подразумева превоз 6.75kg дрвене грађе за изградњу функционалне јединице А и 0.002kg амбалаже.

**Табела ПБ33: Анализа инвентара за изградњу сценарија О (А5)**

Процес	Јединица	Количина за ФЈ А	Образложење/Извор
Примена мешалице	kWh	1.1	( <i>market group for electricity, low voltage, RS</i> ) Количина струје дефинисана на основу потрошње струје за мешање бетона од конопље и креча (4kWh/m <sup>3</sup> ) у постојећим истраживањима (Ip & Miller 2012, Lecompte, Levasseur & Maxime 2017 и Sinka et al. 2018).
Примена воде	kg	90	( <i>market for tap water, Europe without Switzerland</i> ) Потрошња воде је дефинисана према типичном односу за израду зида од бетона од конопље и креча (стабљика:везиво:вода, 1:2:3).
Превоз палета за откуп, просечна раздаљина 20km	t*km	0.088	( <i>transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Превоз отпада до депоније, просечна раздаљина 20km	t*km	0.0094	( <i>transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Претпоставља се да се сав отпад скупља заједно и превози на локалну несанитарну депонију.
Одлагање отпада	kg	0.47	Приказано у Табели ПБ14.
Утицај одлагања пластичне амбалаже	kg	0.23	( <i>treatment of waste polyethylene, open dump, wet infiltration class (500mm), GLO</i> )
Утицај одлагања папирне амбалаже	kg	0.24	( <i>treatment of waste graphical paper, open dump, wet infiltration class (500mm), GLO</i> )

**Табела ПБ34: Анализа инвентара за фазу коришћења функционалне јединице А (Б1-Б7)**

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Фактор карбонатизације везива	kgCO <sub>2eq.</sub>	-24.200	Фактор карбонатизације по килограму везива: -0.403kgCO <sub>2eq.</sub> Рачуна се користећи формулу (16). 60kg везива. Степен карбонатизације хидратисаног креча 90% и фактор карбонатизације хидрауличног креча 50%.
Фактор карбонатизације отпадног везива из фазе изградње	kgCO <sub>2eq.</sub>	-0.623	Фактор карбонатизације по килограму отпадног везива: -0.208kgCO <sub>2eq.</sub> Рачуна се користећи формулу (16). 3kg отпадног везива. Степен карбонатизације хидратисаног креча 50%.

**Табела ПБ35: Анализа инвентара за фазу одлагања функционалне јединице А (Ц1-Ц4)**

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Рушење објекта	m <sup>3</sup>	0.29	<i>(excavation, hydraulic digger, RER)</i>
Превоз дрвета на сагоревање, 20km	t*km	0.135	<i>(transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6, RER)</i>
Сагоревање дрвета	kg	6.75	<i>(treatment of waste wood, untreated, municipal incineration, CH)</i>
Емисије угљен диоксида услед сагоревања дрвета	kgCO <sub>2eq.</sub>	10.780	Сагоревањем дрвене грађе се емитује сав CO <sub>2</sub> везан фотосинтезом.
Превоз бетона од конопље и креч у центар за сортирање и рециклажу, 125km	t*km	12.031	<i>(transport, freight, lorry &gt;32 metric ton, EURO 6, RER)</i>
Сортирање отпада	kg	96.25	<i>(treatment of waste concrete, not reinforced, sorting plant, Europe without Switzerland)</i>
Превоз неупотребљивог бетона од конопље и креча, 20km	t*km	0.1925	<i>(transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6, RER)</i>
Одлагање неупотребљивог бетона од конопље и креча	kg	9.625	<i>(process-specific burdens, sanitary landfill, CH)</i> 10% од сортираног грађевинског отпада.

**Прилог Ц: Анализа инвентара за префабрикацију бетона од конопље и креча у блокове (Б<sub>32</sub> и Би)**

**Табела ПЦ1: Анализа инвентара за фазу производње сценарија Б<sub>32</sub> (А1-А3)**

Процес	Јединица	Количина по m <sup>3</sup> блокова	Количина за сценарио Б <sub>32</sub>	Образложење/Извор
Производња поздера	kg	110	32.9	Приказано у Табели ПБ6
Везивање CO <sub>2</sub> фотосинтезом индустријске конопље	kgCO <sub>2</sub> eq.	-159.274	-47.637	Фактор везивања угљен диоксида по килограму поздера: -1.448kgCO <sub>2</sub> eq. Рачуна се користећи формулу (7).
Превоз поздера, 125km	t*km	13.75	4.113	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Производња хидратисаног креча (CL90S)	kg	165	49.35	Приказано у Табели ПБ18
Превоз хидратисаног креча (CL90S), 125km	t*km	20.625	6.169	( <i>transport, freight, lorry &gt;32 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Хидратисани креч се превози у цистерни и изпумпава у силос.
Истоварање хидратисаног креча у силос	h (cat)	0.00393	0.00118	( <i>machine operation, diesel, &gt;= 18.64 kW and &lt; 74.57 kW, steady-state, GLO</i> ) Претпоставља се степен извлачења материјала од 1.4m <sup>3</sup> по минути (Mineral Products Association 2011)
Производња природног хидрауличног креча (NHL5)	kg	33	9.87	Приказано у Табели ПБ19
Превоз природног хидрауличног креча (NHL5), 1065km	t*km	35.145	10.512	( <i>transport, freight, lorry &gt;32 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Хидраулични креч се превози у цистерни и изпумпава у силос
Истоварање хидрауличног креча у силос	h (cat)	5.61E-4	1.68E-4	( <i>machine operation, diesel, &gt;= 18.64 kW and &lt; 74.57 kW, steady-state, GLO</i> ) Претпоставља се степен извлачења материјала од 1.4m <sup>3</sup> по минути (Mineral Products Association 2011)
Производња метакаолина	kg	22	6.58	Приказано у Табели ПБ21
Превоз метакаолина, 650km	t*km	14.3	4.277	( <i>transport, freight, lorry &gt;32 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Метакаолин се превози у цистерни и изпумпава у силос

Истоварање метаксаолин креча у силос	h (cat)	2.72E-4	8.12E-5	( <i>machine operation, diesel, &gt;= 18.64 kW and &lt; 74.57 kW, steady-state, GLO</i> ) Претпоставља се степен извлачења материјала од 1.4m <sup>3</sup> по минути (Mineral Products Association 2011)
Процеси производње блокове	kWh	6	1.794	( <i>market for electricity, medium voltage, RS</i> ) Потрошња струје се дефинише на основу потрошње струје за процесе производње блокова из еколошке декларације Белгијског произвођача (Léonard & Gros Lambert 2018).
Уље	kg	0.0386	0.0115	( <i>market for lubricating oil, RER</i> ) Потрошња дефинисана према еколошкој декларацији Белгијског произвођача (Léonard & Gros Lambert 2018).
Паковање и палетирање блокова	kWh	1.84	0.550	( <i>market for electricity, medium voltage, RS</i> ) (Léonard & Gros Lambert 2018).
ПЕТ каишеви	kg	0.386	0.115	Приказано у Табели ПБ25 Количина амбалаже дефинисана према еколошкој декларацији Белгијског произвођача (Léonard & Gros Lambert 2018).
Полипропелински покривач	kg	0.386	0.115	Приказано у Табели ПЦ6 (Léonard & Gros Lambert 2018).
Картонски ћошкови	kg	0.324	0.0969	Приказано у Табели ПЦ9 (Léonard & Gros Lambert 2018).
Превоз палета	t*km	2.804	0.844	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Лагровање упакованих блокова	h (cat)	0.0701	0.0211	( <i>machine operation, diesel, &lt; 18.64 kW, low load factor, GLO</i> ) Подразумева се рад виљушкар од 5 минута и тежина товара од 416.5kg.
Резана дрвена грађа	m <sup>3</sup>	/	0.015	Приказано у Табели ПБ24.
Везивање CO <sub>2</sub> фотосинтезом дрвета	kgCO <sub>2eq.</sub>	/	-10.780	Фактор везивања угљен диоксида по килограму дрвене грађе: -1.597 Рачуна се користећи формулу (7).

**Табела ПЦ2: Анализа инвентара за превоз материјала на локацију (А4)**

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Превоз блокова, 125km	t*km	14.048	( <i>transport, freight, lorry &gt;32 metric ton, EURO 5, RER</i> ) 105.3kg + 7.08kg
Превоз дрвене грађе, 125km	t*km	0.85	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> ) 6.75kg + 0.002kg

Табела ПЦЗ: Анализа инвентара за изградњу сценарија Б<sub>32</sub> (А5)

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Производња блокова да се надомести 5% отпада	kg	5.265	Приказано у Табели ПЦ1
Превоз блокова, 125km	t*km	0.703	( <i>transport, freight, lorry &gt;32 metric ton, EURO 5, RER</i> ) 5.265kg + 0.354kg
Производња дрвета да се надомести 5% отпада	kg	0.3375	Приказано у Табели ПБ24.
Превоз дрвене грађе, 125km	t*km	0.0425	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> ) 0.34kg
Производња малтера за слагање блокова	kg	14.8	Приказано у Табели ПЦ9
Производња малтера за спајање два реда блокова	kg	6.9	Приказано у Табели ПЦ9
Производња малтера да се надомести 5% отпада	kg	1.09	Приказано у Табели ПЦ9
Превоз малтера, 125km	t*km	2.934	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> ) 21.7kg + 1.09kg + 0.68kg
Производња челичних шrafoва + 5% отпада	kg	0.105	Приказано у Табели ПЦ10.
Производња челичних спојница + 5% отпада	kg	0.21	Приказано у Табели ПЦ11.
Превоз металних спојница, произвођач до дистрибутера 125km	t*km	0.04	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> ) 0.3kg + 0.15kg + 0.05kg
Превоз металних спојница, дистрибутер до локације, 20km	t*km	0.0064	( <i>light commercial vehicle, RER</i> )
Везани угљен диоксид у отпадном поздеру	kgCO <sub>2eq.</sub>	-2.398	Фактор везивања угљен диоксида по килограму поздера: -1.448kgCO <sub>2eq.</sub> Рачуна се користећи формулу (7)
Везивање угљен диоксида у отпадном дрвету	kgCO <sub>2eq.</sub>	-0.539	Фактор везивања угљен диоксида по килограму дрвене грађе: -1.597 Рачуна се користећи формулу (7)
Примена мешалице	kWh	0.0228	( <i>market group for electricity, low voltage, RS</i> ) Претпоставља се 6 минута мешања за спремање малтера користећи електричну мешалицу (мотор 700w, капацитет 90l)
Примена воде	kg	6	( <i>market for tap water, Europe without Switzerland</i> )
Превоз палета за откуп, 20km	t*km	0.146	( <i>transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Превоз отпада до депоније, 20km	t*km	0.143	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> )

Депонување инертног отпада	kg	6.38	Приказано у Табели ПБ14.
Утицај одлагања пластике	kg	0.126	( <i>treatment of waste polyethylene, open dump, wet infiltration class (500mm), GLO</i> )
Утицај одлагања полипропиленског покривача	kg	0.115	( <i>treatment of waste polypropylene, open dump, wet infiltration class (500mm), GLO</i> )
Утицај одлагања папирне амбалаже	kg	0.0912	( <i>treatment of waste graphical paper, open dump, wet infiltration class (500mm), GLO</i> )
Утицај одлагања картонске амбалаже	kg	0.1	( <i>treatment of waste paperboard, open dump, wet infiltration class (500mm), GLO</i> )
Утицај одлагања дрвенстог отпада	kg	0.338	( <i>treatment of waste wood, untreated, unsanitary landfill, dry infiltration class (100mm), GLO</i> ) Преузет <i>Ecoinvent</i> процес за еколошке утицаје депонувања дрвета. Еколошки показатељ за климатске промене је израчунат користећи формуле (11) до (15), док су вредности за остале показатеље преузети из <i>Ecoinvent</i> процеса.
Емисије гасова стаклене баште услед разградње дрвене грађе	kgCO <sub>2eq.</sub>	0.181	Рачуна се користећи формуле (11) до (15). M <sub>T</sub> : 0.334kg, M <sub>F</sub> : 1, MCF: 0.6, DOC: 0.436, DOC <sub>F</sub> : 0.1, F: 0.5, MM <sub>CH4</sub> : 16g/mol, MM <sub>C</sub> : 12g/mol, M <sub>CH4</sub> : 0.054kg <sub>CH4</sub> , R <sub>CH4</sub> : 0kg <sub>CH4</sub> , OX: 0, CE: 0, F <sub>CO2</sub> : 0.5, DE: 0, CF <sub>CH4</sub> : 28

**Табела ПЦ4: Анализа инвентара за фазу коришћења сценарија Б<sub>32</sub> (Б1-Б7)**

Процес	Јединица	Количина за Б <sub>32</sub>	Образложење/Извор
Фактор карбонатизације везива	kgCO <sub>2eq</sub>	-26.099	Фактор карбонатизације по килограму везива: - 0.397kgCO <sub>2eq</sub> . Рачуна се користећи формулу (16). M <sub>HK</sub> : 0.75kg, K <sub>HK</sub> : 0.554kgCO <sub>2</sub> , S <sub>HK</sub> : 0.875, M <sub>PHK</sub> : 0.15, K <sub>PHK</sub> : 0.327kgCO <sub>2</sub> , S <sub>PHK</sub> : 0.675
Фактор карбонатизације хидратисаног креча у склопу малтера за слагање блокова	kgCO <sub>2eq</sub>	-1.592	Фактор карбонатизације по килограму малтера: - 0.108kgCO <sub>2eq</sub> . Рачуна се користећи формулу (16). M <sub>HK</sub> : 0.222kg, K <sub>HK</sub> : 0.554kgCO <sub>2</sub> , S <sub>HK</sub> : 0.875, M <sub>PHK</sub> : 0, K <sub>PHK</sub> : 0, S <sub>PHK</sub> : 0
Фактор карбонатизације хидратисаног креча у склопу малтера за слагање блокова (површина зида између два реда блокова)	kgCO <sub>2eq</sub>	-0.636	Фактор карбонатизације по килограму малтера: - 0.0922kgCO <sub>2eq</sub> . Рачуна се користећи формулу (16). M <sub>HK</sub> : 0.222kg, K <sub>HK</sub> : 0.554kgCO <sub>2</sub> , S <sub>HK</sub> : 0.75, M <sub>PHK</sub> : 0, K <sub>PHK</sub> : 0, S <sub>PHK</sub> : 0
Фактор карбонатизације хидратисаног креча у отпадном малтеру	kgCO <sub>2eq</sub>	-0.0670	Фактор карбонатизације по килограму малтера: - 0.0615kgCO <sub>2eq</sub> . Рачуна се користећи формулу (16). M <sub>HK</sub> : 0.222kg, K <sub>HK</sub> : 0.554kgCO <sub>2</sub> , S <sub>HK</sub> : 0.50, M <sub>PHK</sub> : 0, K <sub>PHK</sub> : 0, S <sub>PHK</sub> : 0
Фактор карбонатизације везива у отпадним блоковима	kgCO <sub>2eq</sub>	-1.121	Фактор карбонатизације по килограму везива: - 0.341kgCO <sub>2eq</sub> . Рачуна се користећи формулу (16). M <sub>HK</sub> : 0.75kg, K <sub>HK</sub> : 0.719kgCO <sub>2</sub> , S <sub>HK</sub> : 0.75, M <sub>PHK</sub> : 0.15, K <sub>PHK</sub> : 0.327kgCO <sub>2</sub> , S <sub>PHK</sub> : 0.60

**Табела ПЦ5: Анализа инвентара за фазу одлагања сценарија В<sub>32</sub> (Ц1-Ц4)**

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Рушење објекта	m <sup>3</sup>	0.32	( <i>excavation, hydraulic digger, RER</i> )
Превоз дрвета на сагоревање, 20km	t*km	0.135	( <i>transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6, RER</i> )
Сагоревање дрвета	kg	6.75	( <i>treatment of waste wood, untreated, municipal incineration, CH</i> )
Емисије угљен диоксида услед сагоревања дрвета	kgCO <sub>2eq</sub>	10.780	Сагоревањем дрвене грађе се емитује сав угљен диоксид везан фотосинтезом.
Превоз остатка зида у центар за сортирање бетона од конопље и креча, 125km	t*km	16.188	( <i>transport, freight, lorry &gt;32 metric ton, EURO 6, RER</i> )
Сортирање отпада	kg	129.5	( <i>treatment of waste concrete, not reinforced, sorting plant, Europe without Switzerland</i> )
Превоз неупотребљивог бетона од конопље и креча, малтера и челичних спојница, 125km	t*km	0.694	( <i>transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6, RER</i> )
Одлагање отпада	kg	34.7	( <i>process-specific burdens, sanitary landfill, CH</i> ) 10% бетона од конопље и креча, малтер и челичне спојнице.

**Табела ПЦ6: Производња 1kg полипропиленске амбалаже**

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Производња гранулата	kg	1	<i>(market for polypropylene, granulate, GLO)</i>
Производња амбалаже	kg	1	<i>(weaving of synthetic fibre, for industrial use, GLO)</i>
Прилагођавање потрошње струје за Србију	kWh	0.733	Додата разлика између утицаја производње струје за оригинални процес <i>(market group for electricity, medium voltage, GLO)</i> и утицаја производње струје у Србији <i>(market for electricity, medium voltage, RS)</i> .
Превоз	t*km	0.125	<i>(transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER)</i>

**Табела ПЦ7: Производња 1kg картонске амбалаже**

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Производња картонске амбалаже	kg	1	<i>(corrugated board box production, RER)</i>
Прилагођавање потрошње струје за Србију	kWh	0.0705	Додата разлика између утицаја производње струје за оригинални процес <i>(market group for electricity, medium voltage, RER)</i> и утицаја производње струје у Србији <i>(market for electricity, medium voltage, RS)</i> .
Везивање CO <sub>2</sub>	kgCO <sub>2</sub> eq.	-0.166	Везани CO <sub>2</sub> преузет из процеса <i>(corrugated board box production, RER)</i> .
Превоз	t*km	0.125	<i>(transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER)</i>



**Табела ПЦ8: Анализа инвентара за производњу малтера за слагање блокова од бетона од конопље и креча**

Процес	Јединица	Количина по kg малтера	Образложење/Извор
Производња хидратисаног креча (CL90S)	kg	0.222	Приказано у Табели ПБ18. Садржај малтера дефинисан на основу еколошке декларације. (Leonard & Gros Lambert 2018). (хидратисани креч: 8.49kg/m <sup>3</sup> малтера).
Превоз хидратисаног креча (CL90S), 125km	t*km	0.0228	( <i>transport, freight, lorry &gt;32 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Хидратисани креч се превози у цистерни и изпумпава у силос.
Производња гипса	kg	0.196	( <i>stucco production, RoW</i> ) Садржај малтера дефинисан на основу еколошке декларације. (Leonard & Gros Lambert 2018). (природни гипс: 7.72kg/m <sup>3</sup> малтера).
Превоз гипса, 482km	t*km	0.095	( <i>transport, freight, lorry &gt;32 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Просечна раздаљина од потенцијалних извора природног гипса до релевантног граничног прелаза: Видин, Бугарска до Вршка Чуке 50km, Комар, Босна до Раче 255km, Сињ, Хрватска до Раче 390km. Просечна раздаљина до границе 232km + 250km
Производња песка	kg	0.582	Приказано у Табели ПЦ9 Садржај малтера дефинисан на основу еколошке декларације. (Leonard & Gros Lambert 2018). (песак: 22.38kg/m <sup>3</sup> малтера).
Превоз песка, 125km	t*km	0.0727	( <i>transport, freight, lorry &gt;32 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Истоварање креча и гипса у силос	cat	8.63E-06	( <i>machine operation, diesel, &gt;= 18.64 kW and &lt; 74.57 kW, steady-state, GLO</i> ) Претпоставља се степен извлачења материјала од 1.4m <sup>3</sup> по минути (Mineral Products Association 2011)
Мешање малтера	kWh	0.0278	( <i>market for electricity, medium voltage, RS</i> ) Потрошња струје се дефинише на основу потрошње струје за мешање кречног малтера у <i>Ecoinvent</i> бази података ( <i>lime mortar production, CH</i> ).
Производња и превоз папирног цака	kg	0.004	Приказано у Табели ПБ12. Папирни цак од 0.1kg за паковање 25kg малтера.
Струја за паковање везива	kWh	0.0031	( <i>market for electricity, medium voltage, RS</i> ) Потрошња струје дефинисана на основу <i>Ecoinvent</i> процеса за паковање производа од креча ( <i>packing lime product, CH</i> ).

Производња и превоз полиетиленске фолије за паковање	kg	5.00E-4	Приказано у Табели ПЦ6. 0.5kg полиетиленске фолије за паковање палете.
Превоз палета, 125km	t*km	0.00313	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Палета од 25kg, 40 цакова по палети.
Одлагање упакованог малтера	сат	8.09E-5	( <i>machine operation, diesel, &lt; 18.64 kW, low load factor, GLO</i> ) Одлагање упакованог и палетираног везива у прерађивачком погону. Подразумева се рад виљушкара од 5 минута и тежина товара од 1029.5kg.

**Табела ПЦ9: Производња 1kg упакованог песка**

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Извлачење песка	kg	1	( <i>gravel and sand quarry operation, CH</i> )
Прилагођавање потрошње струје за Србију	kWh	0.00272	Додата разлика између утицаја производње струје за оригинални процес ( <i>market group for electricity, medium voltage, CH</i> ) и утицаја производње струје у Србији ( <i>market for electricity, medium voltage, RS</i> ).
Производња полипропиленског цака	kg	0.0375	Приказано у Табели ПЦ6
Паковање	kg	0.0031	( <i>market for electricity, medium voltage, RS</i> ) Типична вредност за процесе паковања у <i>Ecoinvent</i> бази података.
Производња фолије за паковање	kg	5.00E-4	Приказано у Табели ПБ11
Превоз	t*km	3.63E-3	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> )

**Табела ПЦ10: Анализа инвентара за производњу 1kg челичних шрафова**

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Челик	kg	1	( <i>market for steel, low alloyed hot rolled, GLO</i> )
Извлачење жице	kg	1	( <i>wire drawing, RER</i> )
Прилагођавање потрошње струје за производњу у Србији	kWh	0.141	Додата разлика између утицаја производње струје за оригинални процес ( <i>market group for electricity, medium voltage, RER</i> ) и утицаја производње струје у Србији ( <i>market for electricity, medium voltage, RS</i> ).
Производња и превоз картонске амбалаже	kg	0.02	Приказано у Табели ПЦ7.
Производња и полиетиленске фолије за паковање	kg	5.55E-4	Приказано у Табели ПБ11.
Превоз палета, 125km	t*km	0.00347	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> )

**Табела ПЦ11: Анализа инвентара за производњу 1kg челичних спојница**

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Челик	kg	1	<i>(market for steel, low alloyed hot rolled, GLO)</i>
Прерада челика	kg	1	<i>(energy and auxilliary inputs, metal working machine, with process heat from natural gas, RER)</i>
Прилагођавање потрошње струје за производњу у Србији	kWh	1.15	Додата разлика између утицаја производње струје за оригинални процес <i>(market group for electricity, low voltage, RER)</i> и утицаја производње струје у Србији <i>(market for electricity, low voltage, RS)</i> .
Отпадни челик	kg	0.227	<i>(market for steel, low alloyed hot rolled, GLO)</i> вредност према процесу <i>(metal working, average for chromium steel product manufacturing)</i> .
Производња и превоз картонске амбалаже	kg	0.02	Приказано у Табели ПЦ7.
Производња и полиетиленске фолије за паковање	kg	0.000555	Приказано у Табели ПБ11.
Превоз палета, 125km	t*km	0.003472	<i>(transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER)</i>

**Табела ПЦ12: Анализа инвентара за фазу производње (А1-А3) сценарија Би**

Процес	Јединица	Количина по m <sup>3</sup> блокова	Количина за сценарио Би	Образложење/Извор
Производња поздера	kg	110	28.1	Приказано у Табели ПБ6
Везивање CO <sub>2</sub> фотосинтезом индустријске конопље	kgCO <sub>2</sub> eq.	-159.274	-40.687	Фактор везивања угљен диоксида по килограму поздера: -1.448kgCO <sub>2</sub> eq. Рачуна се користећи формулу (7).
Превоз поздера, 125km	t*km	13.75	3.513	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Производња хидратисаног креча (CL90S)	kg	156.75	39.98	Приказано у Табели ПБ18
Превоз хидратисаног креча (CL90S), 125km	t*km	19.593	4.998	( <i>transport, freight, lorry &gt;32 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Хидратисани креч се превози у цистерни и изпумпава у силос.
Истоварање хидратисаног креча у силос	h (cat)	0.00373	9.52E-4	( <i>machine operation, diesel, &gt;= 18.64 kW and &lt; 74.57 kW, steady-state, GLO</i> ) Претпоставља се степен извлачења материјала од 1.4m <sup>3</sup> по минути (Mineral Products Association 2011)
Производња природног хидрауличног креча (NHL5)	kg	31.35	8	Приказано у Табели ПБ19
Превоз природног хидрауличног креча (NHL5), 1065km	t*km	33.388	8.52	( <i>transport, freight, lorry &gt;32 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Хидраулични креч се превози у цистерни и изпумпава у силос
Истоварање хидрауличног креча у силос	h (cat)	5.33E-4	1.45E-4	( <i>machine operation, diesel, &gt;= 18.64 kW and &lt; 74.57 kW, steady-state, GLO</i> ) Претпоставља се степен извлачења материјала од 1.4m <sup>3</sup> по минути (Mineral Products Association 2011)
Производња метакаолина	kg	20.9	5.33	Приказано у Табели ПБ21
Превоз метакаолина, 650km	t*km	13.585	3.465	( <i>transport, freight, lorry &gt;32 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Метакаолин се превози у цистерни и изпумпава у силос
Истоварање метакаолин креча у силос	h (cat)	2.58E-4	6.58E-5	( <i>machine operation, diesel, &gt;= 18.64 kW and &lt; 74.57 kW, steady-state, GLO</i> ) Претпоставља се степен извлачења материјала од 1.4m <sup>3</sup> по минути (Mineral Products Association 2011)

Процеси производње блокове	kWh	6	1.53	( <i>market for electricity, medium voltage, RS</i> ) Потрошња струје се дефинише на основу потрошње струје за процесе производње блокова из еколошке декларације Белгијског произвођача (Léonard & Gros Lambert 2018).
Уље	kg	0.0386	0.00984	( <i>market for lubricating oil, RER</i> ) Потрошња дефинисана према еколошкој декларацији Белгијског произвођача (Léonard & Gros Lambert 2018).
Паковање и палетирање блокова	kWh	1.84	0.469	( <i>market for electricity, medium voltage, RS</i> ) (Léonard & Gros Lambert 2018).
ПЕТ каишеви	kg	0.386	0.0984	Приказано у Табели ПБ25 Количина амбалаже дефинисана према еколошкој декларацији Белгијског произвођача (Léonard & Gros Lambert 2018).
Полипропелински покривач	kg	0.386	0.0984	Приказано у Табели ПЦ6 (Léonard & Gros Lambert 2018).
Картонски ћошкови	kg	0.324	0.0826	Приказано у Табели ПЦ9 (Léonard & Gros Lambert 2018).
Превоз палета	t*km	2.724	0.695	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Лагеревање упакованих блокова	h (cat)	0.0697	0.0178	( <i>machine operation, diesel, &lt; 18.64 kW, low load factor, GLO</i> ) Подразумева се рад виљушкар од 5 минута и тежина товара од 406.5kg.

**Табела ПЦ13: Анализа инвентара за превоз материјала на локацију (А4)**

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Превоз блокова, 125km	t*km	11.571	( <i>transport, freight, lorry &gt;32 metric ton, EURO 5, RER</i> ) 86.73kg + 5.84kg

**Табела ПЦ14: Анализа инвентара за изградњу сценарија Би (А5)**

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Производња блокова да се надомести 5% отпада	kg	4.337	Приказано у Табели ПЦ12
Превоз блокова, 125km	t*km	0.579	( <i>transport, freight, lorry &gt;32 metric ton, EURO 5, RER</i> ) 4.337kg + 0.293kg
Производња малтера за слагање блокова	kg	9.9	Приказано у Табели ПЦ9
Производња малтера за спајање два реда блокова	kg	6.9	Приказано у Табели ПЦ9
Производња малтера да се надомести 5% отпада	kg	0.84	Приказано у Табели ПЦ9
Превоз малтера, 125km	t*km	2.271	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> ) 16.8kg + 0.84kg + 0.53kg
Производња челичних спојница + 5% отпада	kg	0.315	Приказано у Табели ПЦ11.
Превоз металних спојница, произвођач до дистрибутера 125km	t*km	0.04	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> ) 0.3kg + 0.15kg + 0.05kg
Превоз металних спојница, дистрибутер до локације, 20km	t*km	0.0064	( <i>light commercial vehicle, RER</i> )
Везани угљен диоксид у отпадном поздеру	kgCO <sub>2eq.</sub>	-2.027	Фактор везивања угљен диоксида по килограму поздера: -1.448kgCO <sub>2eq.</sub> Рачуна се користећи формулу (7)
Примена мешалице	kWh	0.0177	( <i>market group for electricity, low voltage, RS</i> ) Претпоставља се 6 минута мешања за спремање малтера користећи електричну мешалицу (мотор 700w, капацитет 90l)
Примена воде	kg	4.6	( <i>market for tap water, Europe without Switzerland</i> )
Превоз палета за откуп, 20km	t*km	0.12	( <i>transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Превоз отпада до депоније, 20km	t*km	0.111	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Депоноване инертног отпада	kg	5.54	Приказано у Табели ПБ14.
Утицај одлагања пластике	kg	0.107	( <i>treatment of waste polyethylene, open dump, wet infiltration class (500mm), GLO</i> )
Утицај одлагања полипропиленског покривача	kg	0.0984	( <i>treatment of waste polypropylene, open dump, wet infiltration class (500mm), GLO</i> )
Утицај одлагања папирне амбалаже	kg	0.071	( <i>treatment of waste graphical paper, open dump, wet infiltration class (500mm), GLO</i> )
Утицај одлагања картонске амбалаже	kg	0.083	( <i>treatment of waste paperboard, open dump, wet infiltration class (500mm), GLO</i> )

**Табела ПЦ15: Анализа инвентара за фазу коришћења (Б1-Б7) сценарија Би**

Процес	Јединица	Количина за Би	Образложење/Извор
Фактор карбонатизације везива	kgCO <sub>2eq</sub>	-19.576	Фактор карбонатизације по килограму везива: - 0.397kgCO <sub>2eq</sub> . Рачуна се користећи формулу (16). M <sub>HK</sub> : 0.75kg, K <sub>HK</sub> : 0.554kgCO <sub>2</sub> , S <sub>HK</sub> : 0.875, M <sub>PHK</sub> : 0.15, K <sub>PHK</sub> : 0.327kgCO <sub>2</sub> , S <sub>PHK</sub> : 0.675
Фактор карбонатизације хидратисаног креча у склопу малтера за слагање блокова	kgCO <sub>2eq</sub>	-1.065	Фактор карбонатизације по килограму малтера: - 0.108kgCO <sub>2eq</sub> . Рачуна се користећи формулу (16). M <sub>HK</sub> : 0.222kg, K <sub>HK</sub> : 0.554kgCO <sub>2</sub> , S <sub>HK</sub> : 0.875, M <sub>PHK</sub> : 0, K <sub>PHK</sub> : 0, S <sub>PHK</sub> : 0
Фактор карбонатизације хидратисаног креча у склопу малтера за слагање блокова (површина зида између два реда блокова)	kgCO <sub>2eq</sub>	-0.636	Фактор карбонатизације по килограму малтера: - 0.0922kgCO <sub>2eq</sub> . Рачуна се користећи формулу (16). M <sub>HK</sub> : 0.222kg, K <sub>HK</sub> : 0.554kgCO <sub>2</sub> , S <sub>HK</sub> : 0.75, M <sub>PHK</sub> : 0, K <sub>PHK</sub> : 0, S <sub>PHK</sub> : 0
Фактор карбонатизације хидратисаног креча у отпадном малтеру	kgCO <sub>2eq</sub>	-0.0516	Фактор карбонатизације по килограму малтера: - 0.0615kgCO <sub>2eq</sub> . Рачуна се користећи формулу (16). M <sub>HK</sub> : 0.222kg, K <sub>HK</sub> : 0.554kgCO <sub>2</sub> , S <sub>HK</sub> : 0.50, M <sub>PHK</sub> : 0, K <sub>PHK</sub> : 0, S <sub>PHK</sub> : 0
Фактор карбонатизације везива у отпадним блоковима	kgCO <sub>2eq</sub>	-0.883	Фактор карбонатизације по килограму везива: - 0.341kgCO <sub>2eq</sub> . Рачуна се користећи формулу (16). M <sub>HK</sub> : 0.75kg, K <sub>HK</sub> : 0.719kgCO <sub>2</sub> , S <sub>HK</sub> : 0.75, M <sub>PHK</sub> : 0.15, K <sub>PHK</sub> : 0.327kgCO <sub>2</sub> , S <sub>PHK</sub> : 0.60

**Табела ПЦ16: Анализа инвентара за фазу одлагања (Ц1-Ц4) сценарија Ви**

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Рушење објекта	m <sup>3</sup>	0.26	( <i>excavation, hydraulic digger, RER</i> )
Превоз остатка зида у центар за сортирање бетона од конопље и креча, 125km	t*km	13.151	( <i>transport, freight, lorry &gt;32 metric ton, EURO 6, RER</i> )
Сортирање отпада	kg	105.21	( <i>treatment of waste concrete, not reinforced, sorting plant, Europe without Switzerland</i> )
Превоз неупотребљивог бетона од конопље и креча, малтера и челичних спојница, 125km	t*km	0.549	( <i>transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6, RER</i> )
Одлагање отпада	kg	27.45	( <i>process-specific burdens, sanitary landfill, CH</i> ) 10% бетона од конопље и креча, малтер и челичне спојнице.

## Прилог Д: Анализа инвентара сценарија А+М<sub>КТ</sub>

### Табела ПД1: Анализа инвентара фазе производње сценарија А+М<sub>КТ</sub> (А1-А3)

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Производња поздера	kg	30	Приказано у Табели ПБ6.
Везивање CO <sub>2</sub> фотосинтезом индустријске конопље	kgCO <sub>2eq.</sub>	-43.438	Фактор везивања угљен диоксида по килограму поздера: -1.448kgCO <sub>2eq.</sub>
Производња везива	kg	60	Приказано у Табели ПБ15.
Производња дрвене грађе	m <sup>3</sup>	0.015	Приказано у Табели ПБ24.
Везивање CO <sub>2</sub> фотосинтезом дрвета	kgCO <sub>2eq.</sub>	-10.780	Фактор везивања угљен диоксида по килограму дрвене грађе: -1.597kgCO <sub>2eq.</sub>
Кречно тесто за спољашњу примену	kg	9.7	Приказано у Табели ПД8. Однос по запремини кречно тесто:песак 1:2.5.
Песак за спољашњи малтер од кречног теста	kg	29.5	Приказано у Табели ПЦ9.
Кречно тесто за унутрашњу примену	kg	7.8	Приказано у Табели ПД8. Однос по запремини кречно тесто:песак 1:2.5.
Песак за унутрашњи малтер од кречног теста	kg	23.6	Приказано у Табели ПЦ9.

### Табела ПД2: Анализа инвентара за превоз материјала на локацију (А4)

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Превоз поздер, 125km	t*km	4.138	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> ) 30kg поздер + 3.1kg палета и амбалажа
Превоз везива, 125km	t*km	7.721	( <i>transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 5, RER</i> ) 60kg везиво + 1.77kg палета и амбалажа
Превоз дрвене грађе, 125km	t*km	0.85	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> ) 6.75kg дрвена грађа + 0.002kg амбалажа
Превоз кречног теста, 125km	t*km	2.313	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> ) 17.5kg кречно тесто + 1kg палета и амбалажа
Превоз песка, од произвођача до дистрибутера, 125km	t*km	6.825	( <i>transport, freight, lorry &gt;32t metric ton, EURO 5, RER</i> ) 53.1kg песка + 1.5kg палета и амбалажа
Превоз песка од дистрибутера до локације, 20km	t*km	1.092	( <i>transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 5, RER</i> )



Табела ПДЗ: Анализа инвентара за изградњу сценарија А+М<sub>кт</sub> (А5)

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Производња поздера да се надомести 5% отпада	kg	1.5	Приказано у Табели ПБ6. Користи се фактор отпада од 5% као просечна вредност за <i>in situ</i> грађевинске производе (Nationale Milieu Database 2022).
Превоз поздера, 125km	t*km	0.208	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Производња везива да се надомести 5% отпада	kg	3	Приказано у Табели ПБ15.
Превоз везива, 125km	t*km	0.386	( <i>transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Производња дрвене грађе да се надомести 5% отпада	m <sup>3</sup>	0.00075	Приказано у Табели ПБ24
Превоз дрвене грађе, 125km	t*km	0.0425	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Производња кречног теста да се надомести 5% отпада	kg	0.875	Приказано у Табели ПД8.
Превоз кречног теста, 125km	t*km	0.116	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> ) 0.875kg кречно тесто + 0.053kg палета и амбалажа
Производња песка да се надомести 5% отпада	kg	2.655	Производња песка приказана у Табели ПЦ8.
Превоз песка, 125km	t*km	0.343	( <i>transport, freight, lorry &gt;32t metric ton, EURO 5, RER</i> ) 2.655kg песка + 0.082kg палета и амбалажа
Превоз песка, 20km	t*km	0.0548	( <i>transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Примена мешалице за бетон од конопље и креча	kWh	1.1	( <i>market group for electricity, low voltage, RS</i> ) Количина струје дефинисана на основу потрошње струје за мешање бетона од конопље и креча (4kWh/m <sup>3</sup> ) у постојећим истраживањима (Ip & Miller 2012, Lecompte, Levasseur & Maxime 2017 и Sinka et al. 2018).
Примена мешалице за кречни малтер	kWh	0.07	( <i>market group for electricity, low voltage, RS</i> ) Претпоставља се 12 минута мешања за спремање малтера користећи електричну мешалицу (мотор 700w, капацитет 90l)
Примена воде за израду бетона од конопље и креча	kg	90	( <i>market for tap water, Europe without Switzerland</i> ) Потрошња воде је дефинисана према типичном односу за израду зида од бетона од конопље и креча (стабљика:везиво:вода, 1:2:3).
Превоз палета за откуп, 20km	t*km	0.129	( <i>transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Превоз отпада до депоније, 20km	t*km	0.194	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Претпоставља се да се сав отпад скупља заједно и превози на локалну отворену депонију.
Одлагање отпада	kg	9.677	Приказано у Табели ПБ14.

Утицај одлагања полиетиленске пластичне амбалаже	kg	0.849	( <i>treatment of waste polyethylene, open dump, wet infiltration class (500mm), GLO</i> )
Утицај одлагања полипропиленске пластичне амбалаже	kg	0.208	( <i>treatment of waste polypropylene, open dump, wet infiltration class (500mm), GLO</i> )
Утицај одлагања папирне амбалаже	kg	0.252	( <i>treatment of waste graphical paper, open dump, wet infiltration class (500mm), GLO</i> )
Утицај одлагања дрвета	kg	1.838	( <i>treatment of waste wood, untreated, open dump, wet infiltration class (500mm), GLO</i> ) Преузет <i>Ecoinvent</i> процес за еколошке утицаје депоновања дрвета. Еколошки показатељ за климатске промене је израчунат користећи формуле (11) до (15), док су вредности за остале показатеље преузети из <i>Ecoinvent</i> процеса.
Укупно везани CO <sub>2</sub> , отпадни поздер	kgCO <sub>2eq.</sub>	-2.172	Фактор везивања CO <sub>2</sub> : 1.448kgCO <sub>2</sub>
Емисије гасова стаклене баште услед распадања поздера	kgCO <sub>2eq.</sub>	1.676	Рачуна се користећи формуле, ц – ц. M <sub>T</sub> : 1.5kg, M <sub>F</sub> : 1, MCF: 0.6, DOC: 0.394, DOC <sub>f</sub> : 0.23, F: 0.5, MM <sub>CH4</sub> : 16g/mol, MM <sub>C</sub> : 12g/mol, M <sub>CH4</sub> : 0.054kg <sub>CH4</sub> , R <sub>CH4</sub> : 0kg <sub>CH4</sub> , OX: 0, CE: 0, F <sub>CO2</sub> : 0.5, DE: 0, CF <sub>CH4</sub> : 28
Укупно CO <sub>2</sub> , отпадно дрво	kgCO <sub>2eq.</sub>	-0.539	Фактор везивања CO <sub>2</sub> : 1.597kgCO <sub>2</sub>
Емисије гасова стаклене баште услед распадања дрвене грађе	kgCO <sub>2eq.</sub>	0.181	Рачуна се користећи формуле, ц – ц. M <sub>T</sub> : 0.334kg, M <sub>F</sub> : 1, MCF: 0.6, DOC: 0.436, DOC <sub>f</sub> : 0.1, F: 0.5, MM <sub>CH4</sub> : 16g/mol, MM <sub>C</sub> : 12g/mol, M <sub>CH4</sub> : 0.054kg <sub>CH4</sub> , R <sub>CH4</sub> : 0kg <sub>CH4</sub> , OX: 0, CE: 0, F <sub>CO2</sub> : 0.5, DE: 0, CF <sub>CH4</sub> : 28

Табела ПД4: Анализа инвентара за фазу коришћења сценарија А+М<sub>КТ</sub> (Б1-Б7)

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Производња кречног теста за две спољашње обнове + 5% отпад	kg	20.37	Приказано у Табели ПД8.
Превоз кречног теста за спољашње обнове, 125km	t*km	2.691	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> ) 19.4kg кречно тесто + 0.97kg отпад + 1.16kg амбалажа
Производња кречног теста за две унутрашње обнове + 5% отпад	kg	8.19	Приказано у Табели ПД8.
Превоз кречног теста за унутрашње обнове, 125km	t*km	1.082	( <i>transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5, RER</i> ) 15.6kg кречно тесто + 0.78kg отпад + 0.94kg амбалажа
Производња песка за две спољашње обнове + 5% отпад	kg	61.95	Приказано у Табели ПЦ9.
Производња песка за две унутрашње обнове+ 5% отпад	kg	49.56	Приказано у Табели ПЦ9.
Превоз песка, од произвођача до дистрибутера, 125km	t*km	14.35	( <i>transport, freight, lorry &gt;32t metric ton, EURO 5, RER</i> ) 106.2kg кречно тесто + 5.31kg отпад + 3.26kg амбалажа
Превоз песка од дистрибутера до локације, 20km	t*km	2.296	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Скидање старог малтера	kWh	0.167	( <i>market group for electricity, low voltage, RS</i> ) Претпоставља се 10 минута рада за скидање оронулог малтера (ударна бушилица 1000w)
Примена мешалице за две спољашње обнове	kWh	0.078	( <i>market group for electricity, low voltage, RS</i> ) Претпоставља се 12 минута мешања за спремање малтера користећи електричну мешалицу (мотор 700w, капацитет 90l)
Примена мешалице за две унутрашње обнове	kWh	0.062	Исто
Превоз палета, 20km	t*km	0.074	( <i>transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Превоз отпада, 20km	t*km	2.998	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Одлагање инертног отпада	kg	149.99	( <i>process-specific burdens, inert material landfill, RoW</i> )
Одлагање полиетиленског отпада	kg	1.222	( <i>treatment of waste polyethylene, open dump, wet infiltration class (500mm), GLO</i> )

Одлагање полипропиленског отпада	kg	0.416	<i>(treatment of waste polypropylene, open dump, wet infiltration class (500mm), GLO)</i>
Фактор карбонатизације везива	kgCO <sub>2eq.</sub>	-22.036	Фактор карбонатизације по килограму везива: -0.367kgCO <sub>2eq.</sub> Рачуна се користећи формулу (16). 60kg везива. Степен карбонатизације хидратисаног креча 82.5% и фактор карбонатизације хидрауличног креча 50%.
Фактор карбонатизације отпадног везива из фазе изградње	kgCO <sub>2eq.</sub>	-0.623	Фактор карбонатизације по килограму отпадног везива: -0.208kgCO <sub>2eq.</sub> Рачуна се користећи формулу (16). 3kg отпадног везива. Степен карбонатизације хидратисаног креча 50%.
Карбонатизација кречног теста	kgCO <sub>2eq.</sub>	-14.955	Фактор карбонатизације по килограму отпадног везива: -0.285kgCO <sub>2eq.</sub> 52.5kg кречног теста. Рачуна се користећи формулу (16). Степен карбонатизације хидратисаног креча 82.5%.
Карбонатизација отпадног кречног теста	kgCO <sub>2eq.</sub>	-0.453	Фактор карбонатизације по килограму отпадног везива: -0.173kgCO <sub>2eq.</sub> 2.625kg отпадног кречног теста. Рачуна се користећи формулу (16). Степен карбонатизације хидратисаног креча 50%.

**Табела ПД5: Анализа инвентара за фазу одлагања сценарија А+М<sub>кт</sub> (Ц1-Ц4)**

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Скидање старог малтера	kWh	0.0833	( <i>market group for electricity, low voltage, RS</i> ) Претпоставља се 10 минута рада за скидање оронулог малтера (ударна бушилица 1000w)
Рушење објекта	m <sup>3</sup>	0.29	( <i>excavation, hydraulic digger, RER</i> )
Превоз дрвета на сагоревање, 20km	t*km	0.135	( <i>transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6, RER</i> )
Сагоревање дрвета	kg	6.75	( <i>treatment of waste wood, untreated, municipal incineration, CH</i> )
Емисије угљен диоксида услед сагоревања дрвета	kgCO <sub>2eq.</sub>	10.780	Сагоревањем се емитује сав угљен диоксид везан фотосинтезом.
Превоз обијеног малтера у центар за сортирање грађевинског отпада	t*km	1.412	( <i>transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6, RER</i> )
Сортирање отпадног малтера	kg	70.6	( <i>treatment of waste mineral plaster, sorting plant, RoW</i> )
Одлагање неупотребљивог малтера	kg	7.06	( <i>process-specific burdens, sanitary landfill, CH</i> )
Превоз бетона од конопље и креча до центра за рециклажу	t*km	12.031	( <i>transport, freight, lorry &gt;32 metric ton, EURO 6, RER</i> )
Сортирање бетона од конопље и креча	kg	96.25	( <i>treatment of waste concrete, not reinforced, sorting plant, Europe without Switzerland</i> ).
Превоз неупотребљивог бетона од конопље и креча и малтера	t*km	0.1925	( <i>transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6, RER</i> )
Одлагање неупотребљивог бетона од конопље и креча	kg	9.625	( <i>process-specific burdens, sanitary landfill, CH</i> )

**Табела ПД6: Производња 1kg негашеног креча на традиционалан начин**

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Екстракција кречњака	kg	1.73	( <i>limestone quarry operation, RoW</i> )
Превоз кречњака до прерађивача, 20km	t*km	0.0346	( <i>transport, freight, lorry &gt;32 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Припрема дрвета за гориво	m <sup>3</sup>	0.00245	( <i>hardwood forestry, beech, sustainable forest management, RoW</i> ) Претпоставља се примена тврдог дрвета са типичним садржајем влаге 30% и густином од 798kg/m <sup>3</sup> . Количина дрвета се дефинише користећи формулу (19) којом се добија нижа калоријска вредност од 12.568MJ/kg и формулом (20) којом се добија потрошња од 1129.782kg/t негашеног креча. Потребно је 0.00245m <sup>3</sup> или 1.955kg дрвета по килограму негашеног креча. Фактори емисија за сагоревање дрвета су приказани у табели ПД7.
Везани угљен диоксид у дрвету	kgCO <sub>2</sub>	-2.458	Претпоставља се просечан садржај угљеника од 49% за тврдо дрво и садржај влаге од 30%. Користећи формулу (7) добија се фактор везивања угљен диоксида од -1.258kgCO <sub>2</sub> /kg дрвета.
Превоз дрвета, 20km	t*km	0.0391	( <i>transport, freight, lorry 16 - 32 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Емисије угљен диоксида приликом декарбонизације	kgCO <sub>2eq.</sub>	0.719	Рачуна се користећи формулу (16). $M_K: 1.73\text{kg}$ , $M_{CaCO_3}: 0.945$ , $MM_{CO_2}: 44\text{ g/mol}$ , $MM_{CaCO_3}: 100\text{ g/mol}$
Генерална потрошња дизела на локацији	MJ	0.0148	( <i>market for diesel, burned in building machine, GLO</i> ) Потрошња дизела током процеса, се дефинише на основу уноса из <i>Ecoinvent</i> процеса ( <i>quicklime production, in pieces, loose, RoW</i> ).

**Табела ПД7 Директне емисије штетних материја у ваздух услед стационарног сагоревања дрвета у традиционалној кречној пећи**

Фактори за емисије су дефинисани према садржају влаге у дрвету (30%) на основу процеса за отворено сагоревање дрвета из *Ecoinvent* базе података (*treatment of waste wood, untreated, open burning, GLO*).

Материја	Формула	Емисије услед сагоревања дрвета (kg/kg дрвета) према садржају влаге у дрвету	
		Садржај влаге = 17.41 % фактори примењени у <i>Ecoinvent</i> процесу ( <i>treatment of waste wood, untreated, open burning, GLO</i> )	Садржај влаге = 30% фактори примењени у сценарију А+М <sub>КТ</sub> и другим сценаријима где се користи кречно тесто
Угљен диоксид	CO <sub>2</sub>	1.388	1.186
Метан	CH <sub>4</sub>	0.0059	0.00504
Азот субоксид	N <sub>2</sub> O	1.16E-04	9.93E-05
Ацелтахид	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O	4.28E-04	3.66E-04
Бензен	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	9.80E-04	8.37E-04
Угљен моноксид	CO	0.0386	0.0330
Формалдехид	CH <sub>2</sub> O	4.44E-04	3.79E-04
Азотни оксиди	NO <sub>x</sub>	0.00201	0.00172
Фосфор	P	7.49E-07	6.40E-07
Стирен	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub>	5.28E-04	4.51E-04
Сумпор диоксид	SO <sub>2</sub>	5.41E-05	4.62E-05
Толуен	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	3.72E-04	3.18E-04

**Табела ПД8 Анализа инвентара за производњу 1kg упакованог кречног теста**

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Негашени креч произведен на традиционалан начин	kg	0.48	Приказано у Табели ПД6 Кречно тесто садржи 470-480g креча по килограму кречног теста (Lynch 2019).
Примена додатне воде за гашење живог креча	kg	0.624	<i>(market for tap water, Europe without Switzerland)</i> Потребно око 1300l воде за гашење 1t живог креча при производњи кречног теста. (Spiropoulos 1985).
Полиетиленски гранулат за производњу пластичног бурета од 200l	kg	0.032	<i>(market for polyethylene, high density, granulate, GLO)</i>
Процес производње бурета	kg	0.032	<i>(blow moulding, RER)</i>
Корекција струје за производњу бурета	kWh	0.0544	Разлика између <i>(market for electricity, medium voltage, RER)</i> и <i>(market for electricity, medium voltage, RS)</i>
Превоз бурета	t*km	0.004	<i>(transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER)</i>
ПЕТ каишеви	kg	2.22E-04	Приказано у Табели ПБ25.
Превоз палете	t*km	0.00232	<i>(transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER)</i>



**Табела ПД9: Анализа инвентара за фазу коришћења сценарија А+М<sub>КТ</sub>+ФК<sub>П</sub> (Б1-Б7)**

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Производња кречног теста за две спољашње обнове + 5% отпад	kg	20.37	Приказано у Табели ПД8.
Превоз кречног теста за спољашње обнове, 125km	t*km	2.691	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> ) 19.4kg кречно тесто + 0.97kg отпад + 1.16kg амбалажа
Производња кречног теста за две унутрашње обнове + 5% отпад	kg	8.19	Приказано у Табели ПД8.
Превоз кречног теста за унутрашње обнове, 125km	t*km	1.082	( <i>transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5, RER</i> ) 7.8kg кречно тесто + 0.39kg отпад + 0.47kg амбалажа
Производња песка за две спољашње обнове + 5% отпад	kg	61.95	Приказано у Табели ПЦ9.
Производња песка за једну унутрашњу обнову + 5% отпад	kg	24.78	Приказано у Табели ПЦ9.
Превоз песка, од произвођача до дистрибутера, 125km	t*km	11.158	( <i>transport, freight, lorry &gt;32t metric ton, EURO 5, RER</i> ) 82.6kg кречно тесто + 4.13kg отпад + 2.53kg амбалажа
Превоз песка од дистрибутера до локације, 20km	t*km	1.785	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Скидање старог малтера	kWh	0.125	( <i>market group for electricity, low voltage, RS</i> ) Претпоставља се 10 минута рада за скидање оронулог малтера (ударна бушилица 1000w)
Примена мешалице за две спољашње обнове	kWh	0.078	( <i>market group for electricity, low voltage, RS</i> ) Претпоставља се 12 минута мешања за спремање малтера користећи електричну мешалицу (мотор 700w, капацитет 90l)
Примена мешалице за две унутрашње обнове	kWh	0.031	Исто
Превоз палета, 20km	t*km	0.058	( <i>transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Превоз отпада, 20km	t*km	2.331	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Одлагање инертног отпада	kg	116.562	( <i>process-specific burdens, inert material landfill, RoW</i> )
Одлагање полиетиленског отпада	kg	0.946	( <i>treatment of waste polyethylene, open dump, wet infiltration class (500mm), GLO</i> )
Одлагање полипропиленског отпада	kg	0.324	( <i>treatment of waste polypropylene, open dump, wet infiltration class (500mm), GLO</i> )

Фактор карбонатизације везива	kgCO <sub>2eq.</sub>	-22.036	Фактор карбонатизације по килограму везива: -0.367kgCO <sub>2eq.</sub> Рачуна се користећи формулу (16). 60kg везива. Степен карбонатизације хидратисаног креча 82.5% и фактор карбонатизације хидрауличног креча 50%.
Фактор карбонатизације отпадног везива из фазе изградње	kgCO <sub>2eq.</sub>	-0.623	Фактор карбонатизације по килограму отпадног везива: -0.208kgCO <sub>2eq.</sub> Рачуна се користећи формулу (16). 3kg отпадног везива. Степен карбонатизације хидратисаног креча 50%.
Карбонатизација кречног теста	kgCO <sub>2eq.</sub>	-12.733	Фактор карбонатизације по килограму отпадног везива: -0.285kgCO <sub>2eq.</sub> 44.7kg кречног теста. Рачуна се користећи формулу (16). Степ. карбонатизације хидратисаног креча 82.5%.
Карбонатизација отпадног кречног теста	kgCO <sub>2eq.</sub>	-0.386	Фактор карбонатизације по килограму отпадног везива: -0.173kgCO <sub>2eq.</sub> 2.235kg отпадног кречног теста. Рачуна се користећи формулу (16). Степ. карбонатизације хидратисаног креча 50%.

**Табела ПД10: Анализа инвентара за фазу коришћења сценарија А+М<sub>КТ</sub>+ФК<sub>О</sub> (Б1-Б7)**

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Производња кречног теста за две спољашње обнове + 5% отпад	kg	30.555	Приказано у Табели ПД8.
Превоз кречног теста за спољашње обнове, 125km	t*km	4.038	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> ) 29.1kg кречно тесто + 1.46kg отпад + 1.74kg амбалажа
Производња кречног теста за две унутрашње обнове + 5% отпад	kg	16.38	Приказано у Табели ПД8.
Превоз кречног теста за унутрашње обнове, 125km	t*km	2.165	( <i>transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5, RER</i> ) 15.6kg кречно тесто + 0.78kg отпад + 0.94kg амбалажа
Производња песка за две спољашње обнове + 5% отпад	kg	92.925	Приказано у Табели ПЦ9.
Производња песка за две унутрашње обнове+ 5% отпад	kg	49.56	Приказано у Табели ПЦ9.
Превоз песка, од произвођача до дистрибутера, 125km	t*km	18.338	( <i>transport, freight, lorry &gt;32t metric ton, EURO 5, RER</i> ) 135.7kg кречно тесто + 6.79kg отпад + 4.17kg амбалажа
Превоз песка од дистрибутера до локације, 20km	t*km	2.934	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Скидање старог малтера	kWh	0.208	( <i>market group for electricity, low voltage, RS</i> ) Претпоставља се 10 минута рада за скидање оронулог малтера (ударна бушилица 1000w)
Примена мешалице за две спољашње обнове	kWh	0.117	( <i>market group for electricity, low voltage, RS</i> ) Претпоставља се 12 минута мешања за спремање малтера користећи електричну мешалицу (мотор 700w, капацитет 90l)
Примена мешалице за две унутрашње обнове	kWh	0.062	Исто
Превоз палета, 20km	t*km	0.0946	( <i>transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Превоз отпада, 20km	t*km	3.830	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Одлагање инертног отпада	kg	191.51	( <i>process-specific burdens, inert material landfill, RoW</i> )
Одлагање полиетиленског отпада	kg	1.557	( <i>treatment of waste polyethylene, open dump, wet infiltration class (500mm), GLO</i> )
Одлагање полипропиленског отпада	kg	0.532	( <i>treatment of waste polypropylene, open dump, wet infiltration class (500mm), GLO</i> )

Фактор карбонатизације везива	kgCO <sub>2eq.</sub>	-22.036	Фактор карбонатизације по килограму везива: -0.367kgCO <sub>2eq.</sub> Рачуна се користећи формулу (16). 60kg везива. Степен карбонатизације хидратисаног креча 82.5% и фактор карбонатизације хидрауличног креча 50%.
Фактор карбонатизације отпадног везива из фазе изградње	kgCO <sub>2eq.</sub>	-0.623	Фактор карбонатизације по килограму отпадног везива: -0.208kgCO <sub>2eq.</sub> Рачуна се користећи формулу (16). 3kg отпадног везива. Степен карбонатизације хидратисаног креча 50%.
Карбонатизација кречног теста	kgCO <sub>2eq.</sub>	-17.718	Фактор карбонатизације по килограму отпадног везива: -0.285kgCO <sub>2eq.</sub> 62.2kg кречног теста. Рачуна се користећи формулу (16). Степен карбонатизације хидратисаног креча 82.5%.
Карбонатизација отпадног кречног теста	kgCO <sub>2eq.</sub>	-0.537	Фактор карбонатизације по килограму отпадног везива: -0.173kgCO <sub>2eq.</sub> 3.11kg отпадног кречног теста. Рачуна се користећи формулу (16). Степен карбонатизације хидратисаног креча 50%.

**Прилог Е: Анализа инвентара за сценарио А+М<sub>ПХК</sub>**

**Табела ПЕ1: Анализа инвентара фазе производње сценарија А+М<sub>ПХК</sub> (А1-А3)**

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Производња поздера	kg	30	Производња поздера приказана у Табели ПБ6
Везивање CO <sub>2</sub> фотосинтезом индустријске конопље	kgCO <sub>2eq.</sub>	-43.438	Фактор везивања угљен диоксида по килограму поздера: -1.448kgCO <sub>2eq.</sub>
Производња везива	kg	60	Производња везива приказана у Табели ПБ15
Производња дрвене грађе	m <sup>3</sup>	0.015	Производња дрвене грађе приказана у Табели ПБ24
Везивање CO <sub>2</sub> фотосинтезом дрвета	kgCO <sub>2eq.</sub>	-10.780	Фактор везивања угљен диоксида по килограму дрвене грађе: -1.597kgCO <sub>2eq.</sub>
Природни хидраулични креч за спољашњу примену	kg	5	Приказано у Табели ПЕ6 Однос по запремини хидраулични креч:песак 1:2.5.
Песак за спољашњи малтер од хидрауличног креча	kg	29.5	Приказано у Табели ПЦ9.
Природни хидраулични креч за унутрашњу примену	kg	4	Приказано у Табели ПЕ6 Однос по запремини хидраулични креч:песак 1:2.5.
Песак за унутрашњи малтер од хидрауличног креча	kg	23.6	Приказано у Табели ПЦ9.

**Табела ПЕ2: Анализа инвентара за превоз материјала на локацију (А4)**

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Превоз поздер, просечна раздаљина 125km	t*km	4.138	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> ) 30kg поздер + 3.1kg палета и амбалажа
Превоз везива, просечна раздаљина 125km	t*km	7.721	( <i>transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 5, RER</i> ) 60kg везиво + 1.77kg палета и амбалажа
Превоз дрвене грађе, просечна раздаљина 125km	t*km	0.85	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> ) 6.75kg дрвена грађа + 0.002kg амбалажа
Превоз хидрауличног креча, од произвођача до дистрибутера, 940km	t*km	8.714	( <i>transport, freight, lorry &gt;32t metric ton, EURO 5, RER</i> ) 9kg хидраулични креч + 0.27kg амбалажа
Превоз хидрауличног креча, дистрибутера до локације, 125km	t*km	1.159	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Превоз песка, од произвођача до дистрибутера, 125km	t*km	6.825	( <i>transport, freight, lorry &gt;32t metric ton, EURO 5, RER</i> ) 41.3kg песка + 1.16kg палета и амбалажа
Превоз песка од дистрибутера до локације, 20km	t*km	1.092	( <i>transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 5, RER</i> )

**Табела ПЕЗ: Анализа инвентара за изградњу сценарија А+М<sub>ПХК</sub> (А5)**

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Производња поздера да се надомести 5% отпада	kg	1.5	Приказано у Табели ПБ6 Користи се фактор отпада од 5% као просечна вредност за <i>in situ</i> грађевинске производе (Nationale Milieu Database 2022).
Превоз поздера, 125km	t*km	0.208	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Производња везива да се надомести 5% отпада	kg	3	Приказано у Табели ПБ15.
Превоз везива, 125km	t*km	0.386	( <i>transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Производња дрвене грађе да се надомести 5% отпада	m <sup>3</sup>	0.00075	Приказано у Табели ПБ24.
Превоз дрвене грађе, 125km	t*km	0.0425	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Производња упакованог хидрауличног креча да се надомести 5% отпада	kg	0.45kg	Приказано у Табели ПЕ6.
Превоз упакованог хидрауличног креча, 940km	t*km	0.451	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> ) 0.45kg хидраулични креч + 0.03kg палета и амбалажа
Превоз упакованог хидрауличног креча, 125km	t*km	0.06	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Производња песка да се надомести 5% отпада	kg	2.655	Производња песка приказана у Табели ПЦ9.
Превоз песка, 125km	t*km	0.343	( <i>transport, freight, lorry &gt;32t metric ton, EURO 5, RER</i> ) 2.655kg песка + 0.082kg палета и амбалажа
Превоз песка, 20km	t*km	0.0548	( <i>transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Примена мешалице за бетон од конопље и креча	kWh	1.1	( <i>market group for electricity, low voltage, RS</i> ) Количина струје дефинисана на основу потрошње струје за мешање бетона од конопље и креча (4kWh/m <sup>3</sup> ) у постојећим истраживањима (Ip & Miller 2012, Lecompte, Levasseur & Maxime 2017 и Sinka et al. 2018).
Примена мешалице за малтер од хидрауличног креча	kWh	0.100	( <i>market group for electricity, low voltage, RS</i> ) Претпоставља се 15 минута мешања за спремање малтера користећи електричну мешалицу (мотор 700w, капацитет 90l)
Примена воде за израду бетона од конопље и креча	kg	90	( <i>market for tap water, Europe without Switzerland</i> ) Потрошња воде је дефинисана према типичном односу за израду зида од бетона од конопље и креча (стабљика:везиво:вода, 1:2:3).

Примена воде за спољашњи и унутрашњи малтер од хидрауличног креча и песка	kg	5.9	(market for tap water, Europe without Switzerland)
Превоз палета за откуп, просечна раздаљина 20km	t*km	0.125	(transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5, RER)
Превоз отпада до депоније, просечна раздаљина 20km	t*km	0.174	(transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER)
Одлагање отпада	kg	8.7	Приказано у Табели ПБ14.
Утицај одлагања полиетиленске пластичне амбалаже	kg	0.261	(treatment of waste polyethylene, open dump, wet infiltration class (500mm), GLO)
Утицај одлагања полипропиленске пластичне амбалаже	kg	0.208	(treatment of waste polypropylene, open dump, wet infiltration class (500mm), GLO)
Утицај одлагања папирне амбалаже	kg	0.289	(treatment of waste graphical paper, open dump, wet infiltration class (500mm), GLO)
Утицај одлагања дрвета	kg	1.838	(treatment of waste wood, untreated, open dump, wet infiltration class (500mm), GLO) Преузет <i>Ecoinvent</i> процес за еколошке утицаје депоновања дрвета. Еколошки показатељ за климатске промене је израчунат користећи формуле (11) до (15), док су вредности за остале показатеље преузети из <i>Ecoinvent</i> процеса.
Укупно везани CO <sub>2</sub> , отпадни поздер	kgCO <sub>2</sub> eq.	-2.172	Фактор везивања CO <sub>2</sub> : 1.448kgCO <sub>2</sub>
Емисије гасова стаклене баште услед распадања поздера	kgCO <sub>2</sub> eq.	1.676	Рачуна се користећи формуле, ц – ц. M <sub>T</sub> : 1.5kg, M <sub>F</sub> : 1, MCF: 0.6, DOC: 0.394, DOC <sub>F</sub> : 0.23, F: 0.5, MM <sub>CH<sub>4</sub></sub> : 16g/mol, MM <sub>C</sub> : 12g/mol, M <sub>CH<sub>4</sub></sub> : 0.054kg <sub>CH<sub>4</sub></sub> , R <sub>CH<sub>4</sub></sub> : 0kg <sub>CH<sub>4</sub></sub> , OX: 0, CE: 0, F <sub>CO<sub>2</sub></sub> : 0.5, DE: 0, CF <sub>CH<sub>4</sub></sub> : 28
Укупно CO <sub>2</sub> , отпадно дрво	kgCO <sub>2</sub> eq.	-0.539	Фактор везивања CO <sub>2</sub> : 1.597kgCO <sub>2</sub>
Емисије гасова стаклене баште услед распадања дрвене грађе	kgCO <sub>2</sub> eq.	0.181	Рачуна се користећи формуле, ц – ц. M <sub>T</sub> : 0.334kg, M <sub>F</sub> : 1, MCF: 0.6, DOC: 0.436, DOC <sub>F</sub> : 0.1, F: 0.5, MM <sub>CH<sub>4</sub></sub> : 16g/mol, MM <sub>C</sub> : 12g/mol, M <sub>CH<sub>4</sub></sub> : 0.054kg <sub>CH<sub>4</sub></sub> , R <sub>CH<sub>4</sub></sub> : 0kg <sub>CH<sub>4</sub></sub> , OX: 0, CE: 0, F <sub>CO<sub>2</sub></sub> : 0.5, DE: 0, CF <sub>CH<sub>4</sub></sub> : 28

**Табела ПЕ4: Анализа инвентара за фазу коришћења сценарија А+М<sub>ПХК</sub> (Б1-Б7)**

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Производња хидрауличног креча за две спољашње обнове + 5% отпад	kg	10.5	Приказано у Табели ПЕ6.
Превоз хидрауличног креча за спољашње обнове, 940km	t*km	10.161	( <i>transport, freight, lorry &gt;32t metric ton, EURO 5, RER</i> ) 10kg хидраулични креч + 0.5kg отпад + 0.31kg палета и амбалажа
Превоз хидрауличног креча за спољашње обнове, 125km	t*km	1.351	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Производња хидрауличног креча за две унутрашње обнове + 5% отпад	kg	8.4	Приказано у Табели ПЕ6.
Превоз хидрауличног креча за унутрашње обнове, 940km	t*km	8.122	( <i>transport, freight, lorry &gt;32t metric ton, EURO 5, RER</i> ) 8kg хидраулични креч + 0.4kg отпад + 0.24kg палета и амбалажа
Превоз хидрауличног креча за унутрашње обнове, 125km	t*km	1.08	( <i>transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Производња песка за две спољашње обнове + 5% отпад	kg	61.95	Производња песка приказана у ПЦ5.
Производња песка за две унутрашње обнове+ 5% отпад	kg	49.56	Производња песка приказана у ПЦ5.
Превоз песка, од произвођача до дистрибутера, 125km	t*km	14.35	( <i>transport, freight, lorry &gt;32t metric ton, EURO 5, RER</i> ) 106.2kg кречно тесто + 5.31kg отпад + 3.26kg амбалажа
Превоз песка од дистрибутера до локације, 20km	t*km	2.296	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Скидање старог малтера	kWh	0.167	( <i>market group for electricity, low voltage, RS</i> ) Претпоставља се 10 минута рада за скидање оронулог малтера (ударна бушилица 1000w)
Примена мешалице за две спољашње обнове	kWh	0.11	( <i>market group for electricity, low voltage, RS</i> ) Претпоставља се 15 минута мешања за спремање малтера користећи електричну мешалицу (мотор 700w, капацитет 90l)
Примена мешалице за две унутрашње обнове	kWh	0.088	Исто
Превоз палета, 20km	t*km	0.0652	( <i>transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5, RER</i> )



Превоз отпада, 20km	t*km	2.619	(transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER)
Одлагање инертног отпада	kg	130.936	(process-specific burdens, inert material landfill, RoW)
Одлагање полиетиленског отпада	kg	0.0316	(treatment of waste polyethylene, open dump, wet infiltration class (500mm), GLO)
Одлагање полипропиленског отпада	kg	0.418	(treatment of waste polypropylene, open dump, wet infiltration class (500mm), GLO)
Одлагање папирног отпада	kg	0.0756	(treatment of waste graphical paper, open dump, wet infiltration class (500mm), GLO)
Фактор карбонатизације везива	kgCO <sub>2eq.</sub>	-22.036	Фактор карбонатизације по килограму везива: -0.367kgCO <sub>2eq.</sub> Рачуна се користећи формулу (16). 60kg везива. Степен карбонатизације хидратисаног креча 82.5% и фактор карбонатизације хидрауличног креча 50%.
Фактор карбонатизације отпадног везива из фазе изградње	kgCO <sub>2eq.</sub>	-0.623	Фактор карбонатизације по килограму отпадног везива: -0.208kgCO <sub>2eq.</sub> Рачуна се користећи формулу (16). 3kg отпадног везива. Степен карбонатизације хидратисаног креча 50%.
Карбонатизација хидрауличног креча	kgCO <sub>2eq.</sub>	-4.419	Фактор карбонатизације по килограму отпадног везива: -0.164kgCO <sub>2eq.</sub> 27kg хидрауличног креча. Рачуна се користећи формулу (16). Степен карбонатизације хидрауличног креча 50%.

**Табела ПЕ5: Анализа инвентара за фазу одлагања сценарија А+М<sub>ПХК</sub> (Ц1-Ц4)**

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Скидање старог малтера	kWh	0.0833	(market group for electricity, low voltage, RS) Претпоставља се 10 минута рада за скидање оронулог малтера (ударна бушилица 1000w)
Рушење објекта	m <sup>3</sup>	0.29	(excavation, hydraulic digger, RER)
Превоз дрвета на сагоревање, 20km	t*km	0.135	(transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6, RER)
Сагоревање дрвета	kg	6.75	(treatment of waste wood, untreated, municipal incineration, CH)
Емисије угљен диоксида услед сагоревања дрвета	kgCO <sub>2eq.</sub>	10.780	Сагоревањем се емитује сав угљен диоксид везан фотосинтезом.
Превоз обијеног малтера у центар за сортирање грађевинског отпада	t*km	1.36	(transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6, RER)
Сортирање отпадног малтера	kg	68	(treatment of waste mineral plaster, sorting plant, RoW)
Одлагање неупотребљивог малтера	kg	6.8	(process-specific burdens, sanitary landfill, CH)
Превоз бетона од конопље и креча до центра за рециклажу	t*km	12.031	(transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO 6, RER)
Сортирање бетона од конопље и креча	kg	96.25	(treatment of waste concrete, not reinforced, sorting plant, Europe without Switzerland).
Превоз неупотребљивог бетона од конопље и креча и малтера	t*km	0.1925	(transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6, RER)
Одлагање неупотребљивог бетона од конопље и креча	kg	9.625	(process-specific burdens, sanitary landfill, CH)

**Табела ПЕ6: Производња 1kg упакованог природног хидрауличног креча**

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Природни хидраулични креч	kg	1	Приказано у Табели ПБ19
Производња и превоз папирног цака	kg	0.004	(market for paper sack, RER)
Струја за паковање 1kg везива	kWh	0.00155	(market for electricity, medium voltage, IT)
	kWh	0.00155	(market for electricity, high voltage, IT)
Производња и превоз фолије за паковање	kg	5.00E-4	(market for packaging film, low density polyethylene, RER)
Превоз палете, просечна раздаљина 125km	t*km	0.00313	(transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER)
Одлагање палете, лагеровање упакованог производа	sat	8.09E-5	(machine operation, diesel, < 18.64 kW, low load factor, GLO)

**Прилог Ф: Анализа инвентара сценарија А+ВФ<sub>д</sub>**

**Табела ПФ1: Анализа инвентара фазе производње сценарија А+ВФ<sub>д</sub> (А1-А3)**

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Производња поздера	kg	30	Приказано у Табели ПБ6.
Везивање CO <sub>2</sub> фотосинтезом индустријске конопље	kgCO <sub>2eq.</sub>	-43.438	Фактор везивања угљен диоксида по килограму поздера: -1.448kgCO <sub>2eq.</sub>
Производња везива	kg	60	Приказано у Табели ПБ15.
Производња дрвене грађе	m <sup>3</sup>	0.015	Приказано у Табели ПБ24.
Везивање CO <sub>2</sub> фотосинтезом дрвета	kgCO <sub>2eq.</sub>	-10.780	Фактор везивања угљен диоксида по килограму дрвене грађе: -1.597kgCO <sub>2eq.</sub>
Производња импрегниране дрвене грађе	m <sup>3</sup>	0.005	Приказано у Табели ПФ6
Производња даске храста	m <sup>3</sup>	0.018	(Приказано у Табели ПФ7
Везивање CO <sub>2</sub> фотосинтезом дрвета	kgCO <sub>2eq.</sub>	-24.354	Фактор везивања угљен диоксида по килограму дрвене грађе: -1.597kgCO <sub>2eq.</sub> 2.25kg импрегниране дрвене грађе, 13kg даске од храста
Производња паропропусне фолије	m <sup>2</sup>	1	Tyvek 2524B (DuPont 2016) Подаци преузети из еколошке декларације.
Кречно тесто за унутрашњу примену	kg	7.8	Приказано у Табели ПД8. Однос по запремини кречно тесто:песак 1:2.5.
Песак за унутрашњи малтер од кречног теста	kg	23.6	Приказано у Табели ПЦ9.

**Табела ПФ2: Анализа инвентара за превоз материјала на локацију (А4)**

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Превоз поздер, просечна раздаљина 125km	t*km	4.138	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> ) 30kg поздер + 3.1kg палета и амбалажа
Превоз везива, просечна раздаљина 125km	t*km	7.721	( <i>transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 5, RER</i> ) 60kg везиво + 1.77kg палета и амбалажа
Превоз дрвене грађе, просечна раздаљина 125km	t*km	0.85	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> ) 6.75kg дрвена грађа + 0.002kg амбалажа
Превоз импрегниране дрвене грађе, просечна раздаљина 125km	t*km	0.281	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> ) 2.25kg дрвена грађа + 0.001kg амбалажа
Превоз фасадне даске од храста, 125km	t*km	1.625	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> ) 13kg дрвена грађа + 0.004kg амбалажа
Превоз паропропусне фолије, Контерн Луксембург до дистрибутера Београд. 1450km	t*km	0.283	( <i>transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 5, RER</i> ) 0.195kg паропропусна фолија + 0.004kg амбалажа
Превоз паропропусне фолије, од дистрибутера до локације 125km	t*km	0.0244	( <i>light commercial vehicle, RER</i> )
Превоз кречног теста, просечна раздаљина, 125km	t*km	1.031	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> ) 7.8kg кречно тесто + 0.45kg амбалажа
Превоз песка од произвођача до дистрибутера, 125km	t*km	3.038	( <i>transport, freight, lorry &gt;32t metric ton, EURO 5, RER</i> ) 33.6kg песок + 0.69kg амбалажа
Превоз песка од дистрибутера до локације, 20km	t*km	0.486	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> )

**Табела ПФ3: Анализа инвентара за изградњу сценарија А+ВФ<sub>д</sub> (А5)**

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Производња поздера да се надомести 5% отпада	kg	1.5	Производња поздера приказана у Табели ПБ6 Користи се фактор отпада од 5% као просечна вредност за <i>in situ</i> грађевинске производе (Nationale Milieu Database. 2022).
Превоз поздера, 125km	t*km	0.208	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Производња везива да се надомести 5% отпада	kg	3	Производња везива приказана у Табели ПБ15.
Превоз везива, 125km	t*km	0.386	( <i>transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Производња дрвене грађе да се надомести 5% отпада	m <sup>3</sup>	7.5E-4	Производња дрвене грађе приказана у Табели ПБ24.
Производња импрегнираног дрвета да се надомести 5% отпада	m <sup>3</sup>	2.5E-4	Приказано у Табели ПФ6.
Производња фасадне даске од храста да се надомести 5% отпада	m <sup>3</sup>	9.00E-4	Приказано у Табели ПФ7.
Превоз све дрвене грађе, 125km	t*km	0.138	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Производња фасадне даске од сибирског ариша да се надомести 5% отпада	m <sup>3</sup>	9.75E-4	( <i>planing, board, hardwood, u=10%, RoW</i> )
Производња паропропусне фолије да се надомести 5% отпада	m <sup>2</sup>	0.05	Tyvek 2524B (DuPont de Nemours 2016)
Превоз паропропусне фолије, Контерн Луксембург до дистрибутера Београд. 1450km	t*km	0.00145	( <i>transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Превоз паропропусне фолије, од дистрибутера до локације 125km	t*km	2.00E-5	( <i>light commercial vehicle, RER</i> )
Производња крчног теста да се надомести 5% отпада	kg	0.39	Приказано у Табели ПД8.
Превоз крчног теста, 125km	t*km	0.0513	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Производња песка да се надомести 5% отпада	kg	1.18	Приказано у Табели ПЦ9.
Превоз песка од произвођача до дистрибутера, 125km	t*km	0.151	( <i>transport, freight, lorry &gt;32t metric ton, EURO 5, RER</i> )
Превоз песка од дистрибутера до локације, 20km	t*km	0.0242	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> )

Производња завртња и ексера + 5% отпада	kg	0.105	Приказано у Табели ПЦ10.
Превоз завртња и ексера од произвођача до дистрибутера, 125km	t*km	0.0134	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> ) 0.1kg шрафови + 0.01kg амбалажа
Превоз завртња и ексера од дистрибутера, 20km	t*km	0.00214	( <i>light commercial vehicle, RER</i> )
Примена мешалице за бетон од конопље и креча	kWh	1.1	( <i>market group for electricity, low voltage, RS</i> ) Количина струје дефинисана на основу потрошње струје за мешање бетона од конопље и креча (4kWh/m <sup>3</sup> ) у постојећим истраживањима (Ip & Miller 2012, Lecompte, Levasseur & Maxime 2017 и Sinka et al. 2018).
Примена мешалице за малтер од кречног теста креча	kWh	0.031	( <i>market group for electricity, low voltage, RS</i> ) Претпоставља се 12 минута мешања за спремање малтера користећи електричну мешалицу (мотор 700w, капацитет 90l)
Примена воде за израду бетона од конопље и креча	kg	90	( <i>market for tap water, Europe without Switzerland</i> ) Потрошња воде је дефинисана према типичном односу за израду зида од бетона од конопље и креча (стабљика:везиво:вода, 1:2:3).
Превоз палета за откуп, просечна раздаљина 20km	t*km	0.108	( <i>transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Превоз отпада до депоније, просечна раздаљина 20km	t*km	0.161	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Одлагање инертног отпада	kg	8.039	Приказано у Табели ПБ14.
Утицај одлагања полиетиленске пластичне амбалаже	kg	0.512	( <i>treatment of waste polyethylene, open dump, wet infiltration class (500mm), GLO</i> )
Утицај одлагања полипропиленске пластичне амбалаже	kg	0.092	( <i>treatment of waste polypropylene, open dump, wet infiltration class (500mm), GLO</i> )
Утицај одлагања папирне амбалаже	kg	0.252	( <i>treatment of waste graphical paper, open dump, wet infiltration class (500mm), GLO</i> ).
Утицај одлагања картонске амбалаже	kg	0.013	( <i>treatment of waste paperboard, open dump, wet infiltration class (500mm), GLO</i> )
Утицај одлагања дрвета	kg	2.6	( <i>treatment of waste wood, untreated, open dump, wet infiltration class (500mm), GLO</i> ) Преузет <i>Ecoinvent</i> процес за еколошке утицаје депоновања дрвета. Еколошки показатељ за климатске промене је израчунат користећи формуле (11) до (15), док су вредности за остале показатеље преузети из <i>Ecoinvent</i> процеса..

Укупно везани CO <sub>2</sub> , отпадни поздер	kgCO <sub>2eq.</sub>	-2.172	Фактор везивања CO <sub>2</sub> : 1.448kgCO <sub>2</sub>
Емисије гасова стаклене баште услед распадања поздера	kgCO <sub>2eq.</sub>	1.676	Рачуна се користећи формуле (11) до (15). M <sub>T</sub> : 1.5kg, M <sub>F</sub> : 1, MCF: 0.6, DOC: 0.394, DOC <sub>F</sub> : 0.23, F: 0.5, MM <sub>CH4</sub> : 16g/mol, MM <sub>C</sub> : 12g/mol, M <sub>CH4</sub> : 0.054kg <sub>CH4</sub> , R <sub>CH4</sub> : 0kg <sub>CH4</sub> , OX: 0, CE: 0, F <sub>CO2</sub> : 0.5, DE: 0, CF <sub>CH4</sub> : 28
Укупно CO <sub>2</sub> , отпадно дрво	kgCO <sub>2eq.</sub>	-1.757	Фактор везивања CO <sub>2</sub> : 1.597kgCO <sub>2</sub>
Емисије гасова стаклене баште услед распадања дрвене грађе	kgCO <sub>2eq.</sub>	0.554	Рачуна се користећи формуле (11) до (15). M <sub>T</sub> : 1.1kg, M <sub>F</sub> : 1, MCF: 0.6, DOC: 0.436, DOC <sub>F</sub> : 0.1, F: 0.5, MM <sub>CH4</sub> : 16g/mol, MM <sub>C</sub> : 12g/mol, M <sub>CH4</sub> : 0.054kg <sub>CH4</sub> , R <sub>CH4</sub> : 0kg <sub>CH4</sub> , OX: 0, CE: 0, F <sub>CO2</sub> : 0.5, DE: 0, CF <sub>CH4</sub> : 28

**Табела ПФ4: Анализа инвентара за фазу коришћења сценарија А+ВФ<sub>д</sub> (Б1-Б7)**

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Производња фасадне даске од храста + 5% отпад	m <sup>3</sup>	0.0378	Приказано у Табели ПФ7. 26kg даске + 1.3kg отпада + 0.009kg амбалаже
Превоз фасадне даске од храста	t*km	3.413	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Производња импрегниране дрвене грађе + 5% отпад	m <sup>3</sup>	0.0105	Приказано у Табели ПФ6.
Превоз импрегниране дрвене грађе, просечна раздаљина 125km	t*km	0.591	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> ) 4.5kg дрвене грађе + 0.225kg отпада + 0.001kg амбалаже
Укупно везани угљен диоксид	kgCO <sub>2eq.</sub>	-51.144	Фактор везивања CO <sub>2</sub> : 1.597kgCO <sub>2</sub> 30.5
Производња паропропусне фолије + 5% отпад	m <sup>2</sup>	2.1	Tyvek 2524B (DuPont de Nemours 2016)
Превоз паропропусне фолије, Контерн Луксембург до дистрибутера 1450km	t*km	0.595	( <i>transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Превоз паропропусне фолије, од дистрибутера до локације 125km	t*km	0.0513	( <i>light commercial vehicle, RER</i> )
Производња шrafoва + 5% отпад	kg	0.21	Приказано у Табели ПЦ10.
Превоз шrafoва од произвођача до дистрибутера, 125km	t*km	0.0288	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Превоз шrafoва од дистрибутера, 20km	t*km	0.0046	( <i>light commercial vehicle, RER</i> )
Производња кречног теста за две унутрашње обнове + 5% отпад	kg	16.38	Приказано у Табели ПД8. 15.6kg кречног теста + 0.78kg отпада + 0.95kg амбалаже
Превоз кречног теста за унутрашње обнове, 125km	t*km	2.166	( <i>transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Производња песка за две унутрашње обнове+ 5% отпад	kg	49.56	Приказано у Табели ПЦ9.
Превоз песка, од произвођача до дистрибутера, 125km	t*km	6.376	( <i>transport, freight, lorry &gt;32t metric ton, EURO 5, RER</i> ) 47.2kg песка + 2.36kg отпада + 1.45kg амбалаже
Превоз песка од дистрибутера до локације, 20km	t*km	1.020	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Примена мешалице за две унутрашње обнове	kWh	0.062	( <i>market group for electricity, low voltage, RS</i> )



Скидање старог малтера	kWh	0.0833	(market group for electricity, low voltage, RS) Претпоставља се 5 минута рада за скидање оронулог малтера (ударна бушилица 1000w)
Превоз палета, 20km	t*km	0.0328	(transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5, RER)
Превоз отпада, 20km	t*km	1.909	(transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER)
Одлагање инертног отпада	kg	67.102	Приказано у Табели ПБ14.
Одлагање полиетиленског отпада	kg	0.952	(treatment of waste polyethylene, open dump, wet infiltration class (500mm), GLO)
Одлагање полипропиленског отпада	kg	0.184	(treatment of waste polypropylene, open dump, wet infiltration class (500mm), GLO)
Одлагање картонског отпада	kg	0.026	(treatment of waste paperboard, open dump, wet infiltration class (500mm), GLO)
Превоз дрвета на сагоревање, 20km	t*km	0.641	(transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6, RER)
Сагоревање дрвета	kg	32.025	(treatment of waste wood, untreated, municipal incineration, RoW)
Емисије угљен диоксида услед сагоревања дрвета	kgCO <sub>2eq</sub>	51.144	Сагоревањем се емитује сав угљен диоксид везан фотосинтезом.
Фактор карбонатизације везива	kgCO <sub>2eq</sub>	-22.036	Фактор карбонатизације по килограму везива: -0.367kgCO <sub>2eq</sub> . Рачуна се користећи формулу (16). 60kg везива. Степен карбонатизације хидратисаног креча 82.5% и фактор карбонатизације хидрауличног креча 50%.
Карбонатизација отпадног везива	kgCO <sub>2eq</sub>	-0.623	Фактор карбонатизације по килограму отпадног везива: -0.208kgCO <sub>2eq</sub> . Рачуна се користећи формулу (16). 3kg отпадног везива. Степен карбонатизације хидратисаног креча 50%.
Карбонатизација кречног теста	kgCO <sub>2eq</sub>	-6.800	Фактор карбонатизације по килограму отпадног везива: -0.285kgCO <sub>2eq</sub> . 23.4kg кречног теста. Рачуна се користећи формулу (16). Степен карбонатизације хидратисаног креча 82.5%.
Карбонатизација отпадног кречног теста	kgCO <sub>2eq</sub>	-0.468	Фактор карбонатизације по килограму отпадног везива: -0.173kgCO <sub>2eq</sub> . 1.17kg отпадног кречног теста. Рачуна се користећи формулу ц. Степен карбонатизације хидратисаног креча 50%.

**Табела ПФ5:Анализа инвентара за фазу одлагања сценарија А+ВФ<sub>д</sub> (Ц1-Ц4)**

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Скидање старог малтера	kWh	0.0417	( <i>market group for electricity, low voltage, RS</i> ) Претпоставља се 2.5 минута рада за скидање оронулог малтера (ударна бушилица 1000w)
Рушење објекта	m <sup>3</sup>	0.29	( <i>excavation, hydraulic digger, RER</i> )
Превоз дрвета на сагоревање, 20km	t*km	0.44	( <i>transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6, RER</i> )
Сагоревање дрвета	kg	22	( <i>treatment of waste wood, untreated, municipal incineration, RoW</i> ) Преузет <i>Ecoinvent</i> процес за сагоревање отпадног дрвета у центру за сагоревање отпада.
Емисије угљен диоксида услед сагоревања дрвета	kgCO <sub>2eq.</sub>	37.934	Сагоревањем се емитује сав угљен диоксид везан фотосинтезом.
Превоз обијеног малтера у центар за сортирање грађевинског отпада	t*km	0.634	( <i>transport, freight, lorry &gt;32 metric ton, EURO 6, RER</i> )
Сортирање отпадног малтера	kg	31.4	( <i>treatment of waste mineral plaster, sorting plant, RoW</i> )
Одлагање неупотребљивог малтера, паропропусне фолије и шрафова	kg	3.44	( <i>process-specific burdens, inert material landfill</i> )
Превоз бетона од конопље и креча до центра за рециклажу	t*km	12.031	( <i>transport, freight, lorry &gt;32 metric ton, EURO 6, RER</i> )
Сортирање бетона од конопље и креча	kg	96.25	( <i>treatment of waste concrete, not reinforced, sorting plant, Europe without Switzerland</i> ).
Превоз неупотребљивог бетона од конопље и креча и малтера	t*km	0.1925	( <i>transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6, RER</i> )
Одлагање неупотребљивог бетона од конопље и креча	kg	9.625	( <i>process-specific burdens, inert material landfill, RoW</i> )

Табела ПФ6 Анализа инвентара за производњу импрегнираног дрвета

Процес	Јединица	За 1m <sup>3</sup> дрвене грађе	Количина у А+ВФ <sub>д</sub>	Образложење/Извор
Шумарство и сеча дрвета	m <sup>3</sup>	1.658	0.00829	Преузет је <i>Ecoinvent</i> процес за шумарство и сечу смреке ( <i>softwood forestry, spruce, sustainable forest management, RoW</i> ) у глобалном контексту. Количина сировог дрвета неопходна за 1m <sup>3</sup> суве резане грађе је детерминисана на основу процеса за тестерисање (1.4611kg/m <sup>3</sup> зеленог дрвета) ( <i>sawing, softwood, Europe without Switzerland</i> ), сушење (1.087/m <sup>3</sup> резаног дрвета) ( <i>beam, softwood, raw, kiln drying to u=10%, Europe without Switzerland</i> ) и стругање дрвета (1.044kg/m <sup>3</sup> сушене грађе) ( <i>planing, beam, softwood, u=10%, Europe without Switzerland</i> ).
Превоз дрвета до пилане, 125km	t*km	133.262	0.668	( <i>transport, freight, lorry &gt;32 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Тежина зеленог дрвета (643kg/m <sup>3</sup> ) се преузима из процеса ( <i>softwood forestry, spruce, sustainable forest management, RoW</i> ).
Потрошња струје приликом тестерисања	kWh	20.413	0.102	( <i>market for electricity, medium voltage, RS</i> )
Потрошња дизела приликом тестерисања	MJ	36.341	0.182	( <i>market for diesel, burned in building machine, GLO</i> )
Потрошња уља приликом тестерисања	kg	0.111	0.000555	( <i>market for lubricating oil, RER</i> ) Преузет <i>Ecoinvent</i> процес за производњу струје у Србији. Потрошња струје (17.988kWh), дизела (32.023MJ) и уља (0.0979kg) се дефинишу на основу потрошње струје за тестерисање дрвета у Европском контексту ( <i>sawing, softwood, Europe without Switzerland</i> ). Према процесу ( <i>beam, softwood, raw, kiln drying to u=10%, Europe without Switzerland</i> ) потребно је 1.087m <sup>3</sup> резане грађе за производњу 1m <sup>3</sup> сушене грађе.

Сушење грађе у пећи	kWh	156.6	0.783	<i>(market for electricity, medium voltage, RS)</i> Потрошња струје за сушење грађе (150kWh) је дефинисана на основу података домаћег произвођача сушара (Nigos 2021), за аутоматизовану кондензациону сушару са топлотном пумпом (100-200kWh/m <sup>3</sup> дрвене грађе). Према процесу за стругање меког дрвета ( <i>planing, beam, softwood, u=10%, Europe without Switzerland</i> ) из <i>Ecoinvent</i> базе података, за производњу 1m <sup>3</sup> обрађене грађе потребно је 1.044m <sup>3</sup> сушене грађе.
Производња разхладног средства за топлотну пумпу, R134a	kg	0.00631	3.16E-5	<i>(market for refrigerant r134a, GLO)</i> Количина расхлађивача процењена на основу процеса ( <i>heat production, air-water heat pump 10kW, Europe without Switzerland</i> ).
Емисије гаса <i>HFC-134a</i> услед рада топлотне пумпе	kgCO <sub>2</sub> eq.	8.203	0.0410	Емисије гаса дефинисане на основу процеса ( <i>heat production, air-water heat pump 10kW, Europe without Switzerland</i> ). Према <i>CML-IA</i> методологији 1kg <i>HFC-134a</i> једнак је 1300kgCO <sub>2</sub> .
Превоз дрвета на стругање	sat	0.0574	0.000287	<i>(machine operation, diesel, &lt; 18.64 kW, low load factor, GLO)</i> Подразумева се рад виљушкар од 10 минута и тежина товара од 3m <sup>3</sup> (1350kg).
Стругање грађе	kWh	8.664	0.04332	<i>(market for electricity, medium voltage, RS)</i> Потрошња струје се дефинише на основу потрошње струје за процес стругања сушене дрвене грађе ( <i>planing, beam, softwood, u=10%, Europe without Switzerland</i> ) у <i>Ecoinvent</i> бази података.
Превоз	sat	0.055	0.000275	<i>(machine operation, diesel, &lt; 18.64 kW, low load factor, GLO)</i> Подразумева се рад виљушкар од 10 минута и тежина товара од 3m <sup>3</sup> (1350kg).
Третирање дрвета	kg	12	0.06	<i>(wood preservation, vacuum pressure method, inorganic salt, containing Cr, outdoor use, ground contact)</i>

Прилагођавање струје за производњу у Србији	kWh	5	0.025	Додата је разлика између ( <i>market for electricity, medium voltage, RER</i> ) и ( <i>market for electricity, medium voltage, RS</i> )
Превоз	сат	0.055	0.000275	( <i>machine operation, diesel, &lt; 18.64 kW, low load factor, GLO</i> ) Подразумева се рад виљушкара од 10 минута и тежина товара од 3m <sup>3</sup> (1350kg).
ПЕТ траке за паковање	kg	0.08	0.0004	Приказано у Табели ПБ25.
Паковање грађе	kWh	1.395	0.00698	( <i>market for electricity, medium voltage, RS</i> ) Преузима се стандардна вредност од 0.0031kg/kWh из <i>Ecoinvent</i> базе података.
Превоз	сат	0.055	0.000275	( <i>machine operation, diesel, &lt; 18.64 kW, low load factor, GLO</i> ) Подразумева се рад виљушкара од 10 минута и тежина товара од 3m <sup>3</sup> (1350kg).

**Табела ПФ7: Анализа инвентара за производњу 1m<sup>3</sup> даске од тврдог дрвета**

Процес	Јединица	За 1m <sup>3</sup> резане дрвене грађе	Количина за ФЈ А	Образложење/Извор
Шумарство и сеча дрвета	m <sup>3</sup>	1.805	0.0325	Преузет је <i>Ecoinvent</i> процес за шумарство и сечу смреке ( <i>hardwood forestry, oak, sustainable forest management, RoW</i> ). Количина сировог дрвета неопходна за 1m <sup>3</sup> суве резане грађе је детерминисана на основу процеса за тестерисање (1.5383kg/m <sup>3</sup> зеленог дрвета) ( <i>sawing, softwood, Europe without Switzerland</i> ), сушење (1.087/m <sup>3</sup> резаног дрвета) ( <i>board, hardwood, raw, kiln drying to u=10%, Europe without Switzerland</i> ) и стругање дрвета (1.0797kg/m <sup>3</sup> сушене грађе) ( <i>planing, board, hardwood, u=10%, Europe without Switzerland</i> ).
Превоз дрвета до пилане, 125km	t*km	215.294	3.875	( <i>transport, freight, lorry &gt;32 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Тежина зеленог дрвета (954kg/m <sup>3</sup> ) се преузима из процеса ( <i>hardwood forestry, oak, sustainable forest management, RoW</i> ).
Потрошња струје приликом тестерисања	kWh	22.740	0.409	( <i>market for electricity, medium voltage, RS</i> ) ( <i>market for diesel, burned in building machine, GLO</i> ) ( <i>market for lubricating oil, RER</i> )
Потрошња дизела приликом тестерисања	MJ	37.367	0.673	Потрошња струје (19.376kWh), дизела (31.839MJ) и уља (0.0973kg) се дефинишу на основу потрошње струје за процес тестерисања дрвета ( <i>sawing, hardwood, Europe without Switzerland</i> ).
Потрошња уља приликом тестерисања	kg	0.114	0.00205	Према процесу ( <i>board, hardwood, raw, kiln drying to u=10%, Europe without Switzerland</i> ) потребно је 1.087m <sup>3</sup> резане грађе за производњу 1m <sup>3</sup> необрађене сушене грађе.
Сушење грађе у пећи	kWh	161.955	2.915	( <i>market for electricity, medium voltage, RS</i> ) Потрошња струје за сушење грађе (150kWh/m <sup>3</sup> ) је дефинисана на основу података домаћег произвођача сушара (Nigos n.d.), за аутоматизовану кондензациону сушару са топлотном пумпом (100-200kWh/m <sup>3</sup> дрвене грађе). Према процесу за стругање меког дрвета ( <i>planing, board, hardwood, u=10%, Europe without Switzerland</i> ) из <i>Ecoinvent</i> базе података, за производњу 1m <sup>3</sup> обрађене грађе потребно је 1.0797m <sup>3</sup> необрађене сушене грађе.

Производња разхладног средства, R134a	kg.	0.00653	1.18E-4	( <i>market for refrigerant r134a, GLO</i> ) Количина расхлађивача R134a процењена на основу процеса ( <i>heat production, air-water heat pump 10kW, Europe without Switzerland</i> ).
Емисије гаса <i>HFC-134a</i> услед рада топлотне пумпе	kgCO <sub>2</sub> eq	8.489	0.153	Емисија гаса је дефинисана на основу процеса ( <i>heat production, air-water heat pump 10kW, Europe without Switzerland</i> ). Према <i>CML-IA</i> методологији 1kg <i>HFC-134a</i> једнак је 1300kg CO <sub>2</sub> .
Превоз дрвета на стругање	сат	0.0900	0.0162	( <i>machine operation, diesel, &lt; 18.64 kW, low load factor, GLO</i> ) Подразумева се рад виљушкарa од 10 минута и тежина товара од 2m <sup>3</sup> (1440kg).
Стругање грађе	kWh	18.767	0.338	( <i>market for electricity, medium voltage, RS</i> ) Потрошња струје се дефинише на основу потрошње струје за процес стругања сушене дрвене грађе ( <i>planing, board, hardwood, u=10%, Europe without Switzerland</i> ) у <i>Ecoinvent</i> бази података.
ПЕТ траке за паковање	kg	0.1	0.0018	Производња трака за паковање приказана у Табели ПБ25.
Паковање грађе	kWh	2.232	0.0402	( <i>market for electricity, medium voltage, RS</i> ) Преузима се стандардна вредност од 0.0031kg/kWh за паковање из <i>Ecoinvent</i> базе података.
Превоз	сат	0.0833	0.00150	( <i>machine operation, diesel, &lt; 18.64 kW, low load factor, GLO</i> ) Подразумева се рад виљушкарa од 10 минута и тежина товара од 2m <sup>3</sup> (1440kg).

## Прилог Г: Анализа инвентара функционалне јединице Т

Табела ПГ1 Анализа инвентара за фазу производње функционалне јединице Т (А1-А3)

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Производња термо блокова (10.5/m <sup>2</sup> , 15kg)	kg	157.5	Приказано у Табели ПГ6.
Лепак за лепљење изолационих плоча	kg	4.5	EPD MAPEI Mapetherm AR1 GG (Mapei 2018)
Изолација од стиропора, 90mm (15kg/m <sup>3</sup> )	kg	1.35	Приказано у Табели ПГ7.
Пластични типлови за изолацију (0.025kg)	Број	6	Приказано у Табели ПГ8.
Лепак за глетовање	kg	5.2	EPD MAPEI Mapetherm AR1 GG (Mapei 2018)
Мрежа од стаклених влакана	m <sup>2</sup>	1	Приказано у Табели ПГ9.
Акрилни прајмер	kg	0.3	EPD Mapei Quarzolute Base Coat (Mapei 2019)
Танкослојни акрилни малтер	kg	2.6	EPD MAPEI Quarzolute Tonachino (Mapei 2019)
Гипсани малтер	kg	17	EPD Rigips Plasters (Rigips Saint-Gobain 2019)
Акрилни прајмер	kg	0.15	EPD Mapei Quarzolute Base Coat (Mapei 2019)
Акрилна фарба	kg	0.3	EPD Mapei Quarzolute Pittura (Mapei 2019)



**Табела ПГ2: Анализа инвентара за превоз материјала на локацију (А4)**

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Превоз термо блокова, 125km (произвођач до дистрибутера)	t*km	20.153	( <i>transport, freight, lorry &gt;32 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Блокови 157.5kg и амбалажа 3.27kg
Превоз термо блокова, 20km (дистрибутер до локације)	t*km	3.224	( <i>transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Превоз гипсаног малтера, 430km (произвођач Турда, Румунија до дистрибутера)	t*km	7.525	( <i>transport, freight, lorry &gt;32 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Малтер 17kg и амбалажа 0.5kg
Превоз гипсаног малтера, 125km (дистрибутер до локације)	t*km	2.188	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Превоз лепка за изолационе плоче, акрилног прајмера, акрилног малтера и акрилне фарбе, 1000km (произвођач Робиано ди Медиглиа, Италија до дистрибутера)	t*km	13.6	( <i>transport, freight, lorry &gt;32 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Материјали 13.05kg и амбалажа 0.55kg
Превоз лепка за изолационе плоче, акрилног прајмера и акрилног малтера 125km (дистрибутер до локације)	t*km	1.638	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Материјали 12.6kg и амбалажа 0.51kg
Превоз акрилног прајмера и акрилне фарбе 125km (дистрибутер до локације)	t*km	0.0613	( <i>light commercial vehicle, RER</i> ) Материјали 0.45kg и амбалажа 0.04kg
Превоз стиропора, 125km (произвођач до дистрибутера)	t*km	0.178	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Стиропор 1.35kg и амбалажа 0.07kg
Превоз стиропора, 20km (дистрибутер до локације)	t*km	0.0284	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Превоз типлова за изолацију, 125km (произвођач до дистрибутера)	t*km	0.031	( <i>transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Типлови 0.201kg и амбалажа 0.0469kg
Превоз мреже од стаклених влакана, 125km (произвођач до дистрибутера)	t*km	0.023	( <i>transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Мрежица 0.16kg и амбалажа 0.0246kg
Превоз типлова и мреже 20km (дистрибутер до локације)	t*km	7.68E-3	( <i>light commercial vehicle, RER</i> ) Материјали 0.361kg и амбалажа 0.023kg

**Табела ПГ3: Анализа инвентара за изградњу функционалне јединице Т (А5)**

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Производња упакованог хидратисаног креча за зидарски малтер + 5% отпад	kg	1.155	Приказано у Табели ПГ10. Количина малтера: 21.5l/m <sup>2</sup> (потрошња 35% мања од потрошње за гитер блок 33l/m <sup>2</sup> )
Превоз хидратисаног креча 125km (произвођач до дистрибутера)	t*km	0.149	( <i>transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Хидратисани креч 1.155kg и 0.035kg амбалажа
Производња упакованог цемента (СЕМП) за зидарски малтер + 5% отпад	kg	3.15	Приказано у Табели ПГ10.
Превоз цемента, 125km (произвођач до дистрибутера)	t*km	0.405	( <i>transport, freight, lorry &gt;32t metric ton, EURO 5, RER</i> ) Цемент 3.15kg и 0.092kg амбалажа
Производња упакованог песка за зидарски малтер + 5% отпад	kg	22.47	Приказано у Табели ПЦ9.
Превоз песка, 125km (произвођач до дистрибутера)	t*km	2.879	( <i>transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Песак 22.47kg и 0.56kg амбалажа
Превоз сировина за зидарски малтер, 20km	t*km	0.549	( <i>transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Материјали 26.78kg и 0.687kg амбалажа
Вода за малтер	kg	3.8	( <i>market for tap water, Europe without Switzerland</i> )
Примена мешалице за мешање зидарског малтера (21.5l/m <sup>2</sup> )	kWh	0.0147	( <i>market group for electricity, low voltage, RS</i> ) Претпоставља се 6 минута мешања за спремање малтера користећи електричну мешалицу (мотор 750w, капацитет 110l)
Производња блокова (5% отпад)	kg	7.875	Приказано у Табели ПГ6.
Превоз термо блокова, 125km (произвођач до дистрибутера)	t*km	1.009	( <i>transport, freight, lorry &gt;32 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Блокови 7.875kg и 0.195kg амбалажа
Превоз термо блокова, 20km (дистрибутер до локације)	t*km	0.161	( <i>transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Производња изолације од стиропора (5% отпад)	kg	0.0675	Приказано у Табели ПГ7.
Превоз стиропора, 125km (произвођач до дистрибутера)	t*km	8.88E-03	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Стиропор 0.0675kg и амбалажа 0.07kg
Превоз стиропора, 20km (дистрибутер до локације)	t*km	1.42E-03	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> )

Производња лепка за термоизолационе плоче (5% отпад)	kg	0.485	EPD MAPEI Mapetherm AR1 GG (Mapei 2018)
Производња прајмера за спољашњу и унутрашњу примену (15% отпад)	kg	0.0675	EPD Mapei Quarzolute Base Coat (Mapei 2019)
Танкослојни акрилни малтер (5% отпад)	kg	0.13	EPD MAPEI Quarzolute Tonachino (Mapei 2019)
Производња фарба (15% отпад)	kg	0.045	EPD Mapei Quarzolute Pittura (Mapei 2019)
Превоз лепка за изолационе плоче, прајмера, малтера и фарбе, 1000km (произвођач Робиано ди Медиглиа, Италија до дистрибутера)	t*km	0.761	( <i>transport, freight, lorry &gt;32 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Материјали 0.728kg и амбалажа 0.0333kg
Превоз лепка за изолационе плоче, прајмера и малтера 125km (дистрибутер до локације)	t*km	0.086	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Материјали 0.66kg и амбалажа 0.0279kg
Превоз прајмера и фарбе 125km (дистрибутер до локације)	t*km	9.11E-03	( <i>light commercial vehicle, RER</i> ) Материјали 0.0675kg и амбалажа 0.0054kg
Производња типлова (5% отпад)	број	0.3	Приказано у Табали ПГ8.
Превоз типлова за изолацију, 125km (произвођач до дистрибутера)	t*km	1.54E-03	( <i>transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Типлови 0.01kg и амбалажа 0.0023kg
Производња мреже од стаклених влакана (5% отпад)	m <sup>2</sup>	0.05	Приказано у Табали ПГ9.
Превоз мреже од стаклених влакана, 125km (произвођач до дистрибутера)	t*km	1.15E-03	( <i>transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Мрежица 0.008kg и амбалажа 0.00123kg
Превоз типлова и мреже 20km (дистрибутер до локације)	t*km	3.84E-04	( <i>light commercial vehicle, RER</i> ) Материјали 0.018kg и амбалажа 0.00115kg
Гипсани малтер	kg	0.85	EPD Rigips Plasters (Rigips Saint-Gobain 2019)
Примена мешалице за мешање лепка	kWh	0.0224	( <i>market group for electricity, low voltage, RS</i> ) Претпоставља се 2 минута мешања за спремање малтера користећи ручну електричну мешалицу (мотор 2100w, капацитет кофе 25l)
Примена воде	kg	2.3	( <i>market for tap water, Europe without Switzerland</i> ) 24% по маси праха према препоруци произвођача.
Превоз гипсаног малтера, 430km (произвођач Турда, Румунија до дистрибутера)	t*km	0.378	( <i>transport, freight, lorry &gt;32 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Малтер 0.85kg и амбалажа 0.025kg

Превоз гипсаног малтера, 125km (дистрибутер до локације)	t*km	0.110	(transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER)
Примена мешалице за мешање гипсаног малтера	kWh	0.056	(market group for electricity, low voltage, RS) Претпоставља се 2 минута мешања за спремање малтера користећи ручну електричну мешалицу (мотор 2100w, капацитет кофе 25l)
Вода	kg	13.6	(market for tap water, Europe without Switzerland) Препорука произвођача.
Превоз палета за откуп, просечна раздаљина 20km	t*km	0.109	(transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5, RER)
Превоз отпада до депоније, просечна раздаљина 20km	t*km	0.231	(transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5, RER)
Депонување инертног отпада	kg	11.562	Приказано у Табели ПБ14.
Утицај одлагања пластичне амбалаже	kg	0.456	(treatment of waste polyethylene, open dump, dry infiltration class (100mm), GLO)
Утицај одлагања полипропиленских цакова	kg	0.09	(treatment of waste polypropylene, open dump, dry infiltration class (100mm), GLO)
Утицај одлагања папирне амбалаже	kg	0.0594	(treatment of waste graphical paper, open dump, dry infiltration class (100mm), GLO)
Утицај одлагања картонске амбалаже	kg	0.0243	(treatment of waste paperboard, open dump, dry infiltration class (100mm), GLO)
Утицај одлагања стиропора	kg	0.0675	(treatment of waste polystyrene, open dump, dry infiltration class (100mm), GLO)

**Табела ПГ4: Анализа инвентара за фазу коришћење функционалне јединице Т (Б1-Б7)**

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Цементни лепак за лепљење и глетовање изолационих плоча + 5% отпад (1 обнова)	kg	10.185	EPD MAPEI Mapetherm AR1 GG (Mapei 2018)
Превоз цементног лепка, 1000km (произвођач Робиано ди Медиглиа, Италија, до дистрибутера)	t*km	10.5	(transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO 5, RER) Лепак 10.185kg и амбалажа 0.301kg
Превоз цементног лепка, 125km (дистрибутер до локације)	t*km	1.313	(transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER)
Изолација од стиропора + 5% отпада (1 обнова)	kg	1.418	Приказано у Табели ПГ7.
Превоз стиропора, 125km (произвођач до дистрибутера)	t*km	0.188	(transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 5, RER) Стиропор 1.418kg и амбалажа 0.08kg
Превоз стиропора, 20km (дистрибутер до локације)	t*km	0.03	(transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER)
Пластични типлови за изолацију + 5% отпад	број	6.3	Приказано у Табели ПГ8.
Мрежа од стаклених влакана + 5% отпад	m <sup>2</sup>	1.05	Приказано у Табели ПГ9.
Превоз типлова за изолацију, 125km (произвођач до дистрибутера)	t*km	0.0325	(transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5, RER) Типлови 0.211kg и амбалажа 0.0492kg
Превоз мреже од стаклених влакана, 125km (произвођач до дистрибутера)	t*km	0.025	(transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5, RER) Мрежица 0.168kg и амбалажа 0.0258kg
Превоз типлова и мреже 20km (дистрибутер до локације)	t*km	0.008	(light commercial vehicle, RER) Материјали 0.379kg и амбалажа 0.0243kg
Акрилни прајмер + 15% отпад (9 обнова)	kg	3.105	EPD Mapei Quarzolite Base Coat (Mapei 2019)
Танкослојни акрилни малтер + 5% отпад (9 обнова)	kg	24.57	EPD MAPEI Quarzolite Tonachino (Mapei 2019)
Превоз акрилног прајмера, и акрилног малтера, 1000km (произвођач Робиано ди Медиглиа, Италија, до дистрибутера)	t*km	29.55	(transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO 5, RER) Материјали 27.675kg и 1.877kg амбалажа
Превоз акрилног прајмера и акрилног малтера, 125km (дистрибутер до локације)	t*km	3.694	(transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER)
Гипсани малтер + 5% отпад (2 обнове)	kg	35.7	EPD Rigips Plasters (Rigips Saint-Gobain 2019)
Превоз гипсаног малтера, 430km (произвођач Турда, Румунија до дистрибутера)	t*km	15.798	(transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO 5, RER) Гипсани малтер 35.7kg и 1.042kg амбалажа

Превоз гипсаног малтера, 125km (дистрибутер до локације)	t*km	4.592	(transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER)
Акрилни прајмер + 15% отпад (9 обнова)	kg	1.553	EPD Mapei Quarzolite Base Coat (Mapei 2019)
Акрилна фарба + 15% отпад (9 обнова)	kg	3.105	EPD Mapei Quarzolite Pittura (Mapei 2019)
Превоз акрилног прајмера, и акрилне фарбе, 1000km од произвођача (Робинано ди Медиглиа, Италија) до дистрибутера	t*km	4.98	(transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO 5, RER) Материјали 4.658kg и 0.324kg амбалажа
Превоз акрилног прајмера и акрилне фарбе 125km од дистрибутера до локације	t*km	0.604	(light commercial vehicle, RER) Материјали 4.658kg и 0.175kg амбалажа
Укупна потрошња струје за мешање лепка и гипсаног малтера	kWh	0.134	(market group for electricity, low voltage, RS)
Укупна потрошња воде	kg	29.5	(market for tap water, Europe without Switzerland)
Потрошња струје за прање фасаде (10 прања)	kWh	0.525	(market group for electricity, low voltage, RS) 40m <sup>2</sup> зида по сату (2100w)
Потрошња воде за прање фасаде (10 прања)	kg	120	(market for tap water, Europe without Switzerland) Проток воде од 500l по сату
Превоз палета за откуп, 20km	t*km	0.044	(transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5, RER)
Превоз отпада до депоније, 20km	t*km	1.488	(transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER)
Депонованье инертног отпада	kg	73.377	Приказано у Табели ПБ14.
Утицај одлагања пластике	kg	1.638	(treatment of waste polyethylene, open dump, dry infiltration class (100mm), GLO)
Утицај одлагања папирне амбалаже	kg	0.041	(treatment of waste graphical paper, , open dump, dry infiltration class (100mm), GLO)
Утицај одлагања картонске амбалаже	kg	0.0243	(treatment of waste paperboard, , open dump, dry infiltration class (100mm), GLO)
Утицај одлагања стиропора	kg	1.418	(treatment of waste polystyrene, , open dump, dry infiltration class (100mm), GLO)

Карбонатизација кречно-цементног малтера	kgCO <sub>2</sub> eq.	-1.127	<p>Степен карбонатизације хидратисаног креча:82.5%</p> <p>Карбонатизација цемента се рачуна приказаном формулом.</p> $VC_{CO_2} = M_C \cdot M_{CaO} \cdot \frac{MM_{CO_2}}{MM_{CaO}} \cdot S_{KAR}$ <p><i>VC<sub>CO2</sub></i>: Везани CO<sub>2</sub> карбонатизацијом цемента  <i>M<sub>PC</sub></i>: маса цемента  <i>M<sub>CaO</sub></i>: удео CaO у 1kg цемента (0.461kg)  <i>MM<sub>CO2</sub></i>: моларна маса CO<sub>2</sub> (44g/mol)  <i>MM<sub>CaO</sub></i>: моларна маса CaCO<sub>3</sub> (56g/mol)  <i>S<sub>KAR</sub></i>: степен карбонатизације (57.5%)</p>
--	-----------------------	--------	---

**Табела ПГ5: Анализа инвентара за фазу одлагања функционалне јединице Т (Ц1-Ц4)**

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Рушење објекта	m <sup>3</sup>	0.27	( <i>excavation, hydraulic digger, RER</i> )
Превоз фасадног система на депонију, 20km	t*km	0.545	( <i>transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6, RER</i> )
Превоз остатка функционалне јединице у центар за сортирање грађевинског отпада, 20km	t*km	3.957	( <i>transport, freight, lorry &gt;32 metric ton, EURO 6, RER</i> )
Сортирање грађевинског отпада	kg	205.95	( <i>treatment of waste brick, sorting plant, Europe without Switzerland</i> )
Превоз неупотребљивог отпада, 20km	t*km	0.412	( <i>transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6, RER</i> )
Одлагање инертног грађевинског отпада, фасада и неупотребљиви отпад	kg	46.26	( <i>process-specific burdens, sanitary landfill, CH</i> )
Одлагање стиропора	kg	1.35	( <i>treatment of waste polystyrene, sanitary landfill, CH</i> )
Одлагање пластичних типлова	kg	0.201	( <i>treatment of waste polyethylene, sanitary landfill, CH</i> )

**Табела ПГ6: Анализа инвентара за производњу 1кг опекарског блока**

Анализа инвентара за производњу цемента је базирана на анализи инвентара процеса (*clay brick production, RER*) из *Ecoinvent* базе података.

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Извлачење глине	kg	1.35	( <i>clay pit operation, RoW</i> )
Потрошња струје	kWh	0.0394	( <i>market for electricity, medium voltage, RS</i> )
Потрошња гаса	m <sup>3</sup>	0.044	На основу потрошње енергената у <i>Ecoinvent</i> процесу ( <i>clay brick production, RER</i> ), дефинише се унос од 1.5MJ енергије по килограму опеке. Допремање природног гаса у Србију (Табела ПБ22)
Емисије проузроковане сагоревањем гаса	MJ	1.5	Рачунају се користећи факторе за сагоревање природног гаса из табеле ПБ23.
Потрошња дизела	MJ	0.0297	( <i>market for diesel, burned in building machine, GLO</i> )
Песак	kg	0.0147	Ринфузни песак ( <i>gravel and sand quarry operation, CH</i> )
Корекција струје за производњу песка	kWh	4.00E-5	Разлика између ( <i>market for electricity, medium voltage, CH</i> ) и ( <i>market for electricity, medium voltage, RS</i> )
Превоз песка	t*km	1.84E-3	( <i>transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Смрвљени и самлевени кречњак	kg	0.0243	Приказано у Табели ПГ11
Превоз кречњака	t*km	3.04E-3	( <i>transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Лубрикантно уље	kg	1.32E-5	( <i>market for lubricating oil, RER</i> )
Прах од угља	MJ	0.0245	( <i>market for pulverised lignite, GLO</i> )
Стиропор	kg	3.52E-4	( <i>market for polystyrene, expandable, GLO</i> )
Чипс од дрвета	kg	4.81E-3	( <i>market for wood chips, dry, measured as dry mass, RER</i> )
Вода	kg	0.027	( <i>market group for tap water, Europe without Switzerland</i> )
Бензин	t*km	0.0166	( <i>market for transport, passenger car, RER</i> )
Фолија за палетирање	kg	0.000451	( <i>market for packaging film, low density polyethylene, RER</i> )
Превоз палете	t*km	0.00281	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> )



**Табела ПГ7: Анализа инвентара за производњу 1кг експандираног полистирена**

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Производња стиропора	kg	1.04	<i>(market for polystyrene, expandable, GLO)</i>
Формирање	kg	1	<i>(polymer foaming, RER)</i>
Прилагођавање потрошње струје за Србију	kWh	0.788	Додата разлика између утицаја производње струје за оригинални процес <i>(market group for electricity, medium voltage, RER)</i> и утицаја производње струје у Србији <i>(market for electricity, medium voltage, RS)</i> .
Производња фолије за паковање	kg	0.0133	Приказано у Табели ПБ11.
Паковање	kWh	0.00309	<i>(market for electricity, medium voltage, RER)</i>

**Табела ПГ8: Анализа инвентара за производњу једног типла за изолацију**

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Убризавање пластике у калуп (полиамид ојачан стакленим влакнима)	kg	0.025	<i>(glass fibre reinforced plastic production, polyamide, injection moulded, RER)</i>
Прилагођавање потрошње струје за Србију	kWh	0.037	Корекција струје за процес <i>(injection moulding, RER)</i> . Разлика између <i>(market for electricity, medium voltage, RER)</i> и <i>(market for electricity, medium voltage, RS)</i>
Производња и допремање картонске амбалаже	kg	0.0025	<i>(market for corrugated board box, RER)</i>
Производња и допремање пластичне фолије за палетирање	kg	1.04E-4	<i>(market for packaging film, low density polyethylene, GLO)</i>
Превоз палета	t*km	6.51E-4	<i>(transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER)</i>

**Табела ПГ9: Анализа инвентара за производњу 1m<sup>2</sup> мреже од стаклених влакана**

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Производња стаклених влакана	kg	0.162	( <i>glass fibre production, RER</i> )
Прилагођавање потрошње струје за Србију	kWh	0.261	Додата разлика између утицаја производње струје за оригинални процес ( <i>market group for electricity, medium voltage, RER</i> ) и утицаја производње струје у Србији ( <i>market for electricity, medium voltage, RS</i> ).
Прерада влакана	kg	0.162	( <i>weaving of synthetic fibre, for industrial use, GLO</i> )
Прилагођавање потрошње струје за Србију	kWh	0.261	Додата разлика између утицаја производње струје за оригинални процес ( <i>market group for electricity, medium voltage, GLO</i> ) и утицаја производње струје у Србији ( <i>market for electricity, medium voltage, RS</i> ).
Производња и допремање картонске амбалаже	kg	0.0081	( <i>market for corrugated board box, RER</i> )
Производња и допремање пластичне фолије за палетирање	kg	0.0015	( <i>market for packaging film, low density polyethylene, GLO</i> )
Превоз палета	t*km	0.00188	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> )

**Табела ПГ10: Анализа инвентара за производњу 1kg упакованог хидратисаног креча**

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Хидратисани креч	kg	1	Приказано у Табели ПБ18
Производња и превоз папирног цака	kg	0.004	Приказано у Табели ПБ12
Струја за паковање 1кг везива	kWh	0.00155	( <i>market for electricity, medium voltage, RS</i> )
	kWh	0.00155	( <i>market for electricity, high voltage, RS</i> )
Производња и превоз фолије за паковање	kg	5.00E-4	Приказано у Табели ПБ11
Превоз палете, просечна раздаљина 125km	t*km	0.00313	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Одлагање палете, лагеровање упакованог производа	сат	8.09E-5	( <i>machine operation, diesel, &lt; 18.64 kW, low load factor, GLO</i> )

**Табела ПГ11: Анализа инвентара за производњу 1kg цемента (CEMII)**

Анализа инвентара за производњу цемента је базирана на анализи инвентара процеса (*cement production, alternative constituents 21-35%, Europe without Switzerland*) из Ecoinvent базе података.

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Производња клинкера	kg	0.684	( <i>clinker production, Europe without Switzerland</i> )
Прилагођавање потрошње струје за Србију	kWh	0.058	Корекција струје за процес ( <i>clinker production, Europe without Switzerland</i> ). Додата разлика између утицаја производње струје за оригинални процес ( <i>market group for electricity, medium voltage, Europe without Switzerland</i> ) и утицаја производње струје у Србији ( <i>market for electricity, medium voltage, RS</i> ).
Потрошња струје за производњу цемента	kWh	0.0365	( <i>market for electricity, medium voltage, RS</i> )
Печени шкриљац	kg	0.0042	( <i>market for burnt shale, GLO</i> )
Млевена гранулисана шљака из високе пећи	kg	0.021	( <i>market for ground granulated blast furnace slag, RoW</i> )
Природни гипс	kg	0.036	( <i>gypsum quarry operation, RoW</i> )
Превоз гипса, 482km	t*km	0.0174	( <i>transport, freight, lorry &gt;32 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Млевени кречњак	kg	0.224	Приказано у Табели ПГ12
Превоз кречњака, 20km	t*km	0.00448	( <i>transport, freight, lorry &gt;32 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Етилен гликол	kg	3.10E-4	( <i>market for ethylene glycol, GLO</i> )
Топлотна енергија	MJ	0.00672	( <i>market for heat, district or industrial, other than natural gas, Europe without Switzerland</i> )
Паковање у амбалажу	kWh	0.0031	( <i>market for electricity, medium voltage, RS</i> )
Папирни цак за амбалажу	kg	0.004	Приказано у Табели ПБ12
Пластична фолија за паковање	kg	5.00E-4	Приказано у Табели ПБ11
Превоз палете	t*km	0.00313	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> )

**Табела ПБ12: Анализа инвентара за производњу 1kg млевеног кречњака**

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Припрема здробљеног кречњака	kg	1	Приказано у Табели ПБ16
Млевење кречњака	kWh	0.032	( <i>market for electricity, high voltage, RS</i> ) Потрошња струје се дефинише на основу процеса за млевење кречњака ( <i>lime production, milled, loose, Europe without Switzerland</i> ) у Ecoinvent бази података.
Енергија за сушење	MJ	0.0898	( <i>market for heat, district or industrial, other than natural gas, Europe without Switzerland</i> )

**Табела ПГ13: Анализа инвентара за фазу коришћење сценарија Т+ФК<sub>п</sub> (Б1-Б7)**

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Цементни лепак за лепљење и глетовање изолационих плоча + 5% отпад (2 обнове)	kg	20.37	EPD MAPEI Mapetherm AR1 GG (Mapei 2017)
Превоз цементног лепка, 1000km (произвођач Робиано ди Медиглиа, Италија, до дистрибутера)	t*km	20.97	( <i>transport, freight, lorry &gt;32 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Лепак 20.37kg и амбалажа 0.602kg
Превоз цементног лепка, 125km (дистрибутер до локације)	t*km	2.621	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Изолација од стиропора + 5% отпада (2 обнове)	kg	2.835	Приказано у Табели ПГ7.
Превоз стиропора, 125km (произвођач до дистрибутера)	t*km	0.375	( <i>transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Стиропор 1.418kg и амбалажа 0.08kg
Превоз стиропора, 20km (дистрибутер до локације)	t*km	0.06	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Пластични типлови за изолацију + 5% отпад	број	12.6	Приказано у Табели ПГ8.
Мрежа од стаклених влакана + 5% отпад	m <sup>2</sup>	2.1	Приказано у Табели ПГ9.
Превоз типлова за изолацију, 125km (произвођач до дистрибутера)	t*km	0.0651	( <i>transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Типлови 0.422kg и амбалажа 0.0984kg
Превоз мреже од стаклених влакана, 125km (произвођач до дистрибутера)	t*km	0.0475	( <i>transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Мрежица 0.336kg и амбалажа 0.0516kg
Превоз типлова и мреже 20km (дистрибутер до локације)	t*km	0.0161	( <i>light commercial vehicle, RER</i> ) Материјали 0.758kg и амбалажа 0.0486kg
Акрилни прајмер + 15% отпад 10 обнова)	kg	3.45	EPD Mapei Quarzolite Base Coat (Mapei 2018)
Танкослојни акрилни малтер + 5% отпад (10 обнова)	kg	27.3	EPD MAPEI Quarzolite Tonachino (Mapei 2018)
Превоз акрилног прајмера, и акрилног малтера, 1000km (произвођач Робиано ди Медиглиа, Италија, до дистрибутера)	t*km	32.86	( <i>transport, freight, lorry &gt;32 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Материјали 30.75kg и 2.105kg амбалажа
Превоз акрилног прајмера и акрилног малтера, 125km (дистрибутер до локације)	t*km	4.108	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Гипсани малтер + 5% отпад (2 обнове)	kg	35.7	EPD Rigips Plasters (Saint-Gobain 2019)

Превоз гипсаног малтера, 430km (произвођач Турда, Румунија до дистрибутера)	t*km	15.798	(transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO 5, RER) Гипсани малтер 35.7kg и 1.042kg амбалажа
Превоз гипсаног малтера, 125km (дистрибутер до локације)	t*km	4.592	(transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER)
Акрилни прајмер + 15% отпад (10 обнова)	kg	1.725	EPD Mapei Quarzolite Base Coat (Mapei 2018)
Акрилна фарба + 15% отпад (10 обнова)	kg	3.45	EPD Mapei Quarzolite Pittura (Mapei 2018)
Превоз акрилног прајмера, и акрилне фарбе, 1000km од произвођача (Робиано ди Медиглиа, Италија) до дистрибутера	t*km	5.53	(transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO 5, RER) Материјали 5.175kg и 0.359kg амбалажа
Превоз акрилног прајмера и акрилне фарбе 125km од дистрибутера до локације	t*km	0.671	(light commercial vehicle, RER) Материјали 5.175kg и 0.194kg амбалажа
Укупна потрошња струје за мешање лепка и гипсаног малтера	kWh	0.157	(market group for electricity, low voltage, RS)
Укупна потрошња воде	kg	31.8	(market for tap water, Europe without Switzerland)
Потрошња струје за прање фасаде (11 прања)	kWh	0.578	(market group for electricity, low voltage, RS) 40m <sup>2</sup> зида по сату (2100w)
Потрошња воде за прање фасаде (10 прања)	kg	132	(market for tap water, Europe without Switzerland) Проток воде од 500l по сату
Превоз палета за откуп, 20km	t*km	0.0526	(transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5, RER)
Превоз отпада до депоније, 20km	t*km	1.970	(transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER)
Депоноване инертног отпада	kg	98.484	Приказано у Табели ПБ14.
Утицај одлагања пластике	kg	2.093	(treatment of waste polyethylene, open dump, dry infiltration class (100mm), GLO)
Утицај одлагања папирне амбалаже	kg	0.082	(treatment of waste graphical paper, , open dump, dry infiltration class (100mm), GLO)
Утицај одлагања картонске амбалаже	kg	0.0483	(treatment of waste paperboard, , open dump, dry infiltration class (100mm), GLO)
Утицај одлагања стиропора	kg	2.835	(treatment of waste polystyrene, , open dump, dry infiltration class (100mm), GLO)

Карбонатизација кречно-цементног малтера	kgCO <sub>2</sub> eq.	-1.127	<p>Степен карбонатизације хидратисаног креча:82.5%</p> <p>Карбонатизација цемента се рачуна приказаном формулом.</p> $VC_{CO_2} = M_C \cdot M_{CaO} \cdot \frac{MM_{CO_2}}{MM_{CaO}} \cdot S_{KAR}$ <p><i>VPCO<sub>2</sub></i>: Везани CO<sub>2</sub> карбонатизацијом цемента  <i>M<sub>PC</sub></i>: маса цемента  <i>M<sub>CaO</sub></i>: удео CaO у 1kg цемента (0.461kg)  <i>MM<sub>CO<sub>2</sub></sub></i>: моларна маса CO<sub>2</sub> (44g/mol)  <i>MM<sub>CaO</sub></i>: моларна маса CaCO<sub>3</sub> (56g/mol)  <i>S<sub>KAR</sub></i>: степен карбонатизације (57.5%)</p>
--	-----------------------	--------	--

**Табела ПГ14: Анализа инвентара за фазу коришћење сценарија Т+ФК<sub>о</sub> (Б1-Б7)**

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Цементни лепак за лепљење и глетовање изолационих плоча + 5% отпад (1 обнова)	kg	10.185	EPD MAPEI Mapetherm AR1 GG (Mapei 2017)
Превоз цементног лепка, 1000km (произвођач Робиано ди Медиглиа, Италија, до дистрибутера)	t*km	10.5	(transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO 5, RER) Лепак 10.185kg и амбалажа 0.301kg
Превоз цементног лепка, 125km (дистрибутер до локације)	t*km	1.313	(transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER)
Изолација од стиропора + 5% отпада (1 обнова)	kg	1.418	Приказано у Табели ПГ7.
Превоз стиропора, 125km (произвођач до дистрибутера)	t*km	0.188	(transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 5, RER) Стиропор 1.418kg и амбалажа 0.08kg
Превоз стиропора, 20km (дистрибутер до локације)	t*km	0.03	(transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER)
Пластични типлови за изолацију + 5% отпад	број	6.3	Приказано у Табели ПГ8.
Мрежа од стаклених влакана + 5% отпад	m <sup>2</sup>	1.05	Приказано у Табели ПГ9.
Превоз типлова за изолацију, 125km (произвођач до дистрибутера)	t*km	0.0325	(transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5, RER) Типлови 0.211kg и амбалажа 0.0492kg
Превоз мреже од стаклених влакана, 125km (произвођач до дистрибутера)	t*km	0.025	(transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5, RER) Мрежица 0.168kg и амбалажа 0.0258kg
Превоз типлова и мреже 20km (дистрибутер до локације)	t*km	0.008	(light commercial vehicle, RER) Материјали 0.379kg и амбалажа 0.0243kg
Акрилни прајмер + 15% отпад (7 обнова)	kg	2.415	EPD Mapei Quarzolite Base Coat (Mapei 2018)
Танкослојни акрилни малтер + 5% отпад (7 обнова)	kg	19.11	EPD MAPEI Quarzolite Tonachino (Mapei 2018)
Превоз акрилног прајмера, и акрилног малтера, 1000km (произвођач Робиано ди Медиглиа, Италија, до дистрибутера)	t*km	23.03	(transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO 5, RER) Материјали 21.525kg и 1.503kg амбалажа
Превоз акрилног прајмера и акрилног малтера, 125km (дистрибутер до локације)	t*km	2.879	(transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER)
Гипсани малтер + 5% отпад (2 обнове)	kg	17.85	EPD Rigips Plasters (Saint-Gobain 2019)
Превоз гипсаног малтера, 430km (произвођач Турда, Румунија до дистрибутера)	t*km	7.899	(transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO 5, RER) Гипсани малтер 17.85 kg и 0.521kg амбалажа

Превоз гипсаног малтера, 125km (дистрибутер до локације)	t*km	2.296	(transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER)
Акрилни прајмер + 15% отпад (7 обнова)	kg	1.208	EPD Mapei Quarzolite Base Coat (Mapei 2018)
Акрилна фарба + 15% отпад (7 обнова)	kg	2.415	EPD Mapei Quarzolite Pittura (Mapei 2018)
Превоз акрилног прајмера, и акрилне фарбе, 1000km од произвођача (Робиано ди Медиглиа, Италија) до дистрибутера	t*km	3.88	(transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO 5, RER) Материјали 3.623kg и 0.136kg амбалажа
Превоз акрилног прајмера и акрилне фарбе 125km од дистрибутера до локације	t*km	0.47	(light commercial vehicle, RER)
Укупна потрошња струје за мешање лепка и гипсаног малтера	kWh	0.0784	(market group for electricity, low voltage, RS)
Укупна потрошња воде	kg	15.9	(market for tap water, Europe without Switzerland)
Потрошња струје за прање фасаде (7 прања)	kWh	0.42	(market group for electricity, low voltage, RS) 40m <sup>2</sup> зида по сату (2100w)
Потрошња воде за прање фасаде (10 прања)	kg	96	(market for tap water, Europe without Switzerland) Проток воде од 500l по сату
Превоз палета за откуп, 20km	t*km	0.0308	(transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5, RER)
Превоз отпада до депоније, 20km	t*km	0.991	(transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER)
Депонованье инертног отпада	kg	49.525	Приказано у Табели ПБ14.
Утицај одлагања пластике	kg	1.33	(treatment of waste polyethylene, open dump, dry infiltration class (100mm), GLO)
Утицај одлагања папирне амбалаже	kg	0.041	(treatment of waste graphical paper, , open dump, dry infiltration class (100mm), GLO)
Утицај одлагања картонске амбалаже	kg	0.023	(treatment of waste paperboard, , open dump, dry infiltration class (100mm), GLO)
Утицај одлагања стиропора	kg	1.418	(treatment of waste polystyrene, , open dump, dry infiltration class (100mm), GLO)



Карбонатизација кречно-цементног малтера	kgCO <sub>2</sub> eq.	-1.127	<p>Степен карбонатизације хидратисаног креча:82.5%</p> <p>Карбонатизација цемента се рачуна приказаном формулом.</p> $VC_{CO} = M_C \cdot M_{CaO} \cdot \frac{MM_{CO_2}}{MM_{CaO}} \cdot S_{KAR}$ <p><i>VP<sub>CO2</sub></i>: Везани CO<sub>2</sub> карбонатизацијом цемента  <i>M<sub>PC</sub></i>: маса цемента  <i>M<sub>CaO</sub></i>: удео CaO у 1kg цемента (0.461kg)  <i>MM<sub>CO2</sub></i>: моларна маса CO<sub>2</sub> (44g/mol)  <i>MM<sub>CaO</sub></i>: моларна маса CaCO<sub>3</sub> (56g/mol)  <i>S<sub>KAR</sub></i>: степен карбонатизације (57.5%)</p>
--	-----------------------	--------	---

## Прилог X: Анализа инвентара Сценарија Гб

Табела ПХ1: Анализа инвентара за фазу производње сценарија Гб (А1-А3)

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Производња гитер блокова (25/m <sup>2</sup> , 7kg)	kg	175	Приказано у Табели ПГ6.
Лепак за лепљење изолационих плоча	kg	4.5	EPD MAPEI Mapetherm AR1 GG (Mapei 2017)
Изолација од стиропора, 110mm (15kg/m <sup>3</sup> )	kg	1.65	Приказано у Табели ПГ7.
Пластични типлови за изолацију	Broj	6	Приказано у Табели ПГ8.
Лепак за глетовање	kg	5.2	EPD MAPEI Mapetherm AR1 GG (Mapei 2017)
Мрежа од стаклених влакана	m <sup>2</sup>	1	Приказано у Табели ПГ9.
Акрилни прајмер	kg	0.3	EPD Mapei Quarzolute Base Coat (Mapei 2018)
Танкослојни акрилни малтер	kg	2.6	EPD MAPEI Quarzolute Tonachino (Mapei 2018)
Гипсани малтер	kg	17	EPD Rigips Plasters (Saint-Gobain 2019)
Акрилни прајмер	kg	0.15	EPD Mapei Quarzolute Base Coat (Mapei 2018)
Акрилна фарба	kg	0.3	EPD Mapei Quarzolute Pittura (Mapei 2018)

**Табела ПХ2: Анализа инвентара за превоз материјала на локацију (А4)**

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Превоз гитер блокова, 125km (произвођач до дистрибутера)	t*km	22.318	(transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO 5, RER) Блокови 175kg и амбалажа 3.54kg
Превоз термо блокова, 20km (дистрибутер до локације)	t*km	3.571	(transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 5, RER)
Превоз гипсаног малтера, 430km (произвођач Турда, Румунија до дистрибутера)	t*km	7.525	(transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO 5, RER) Малтер 17kg и амбалажа 0.5kg
Превоз гипсаног малтера, 125km (дистрибутер до локације)	t*km	2.188	(transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER)
Превоз лепка за изолационе плоче, акрилног прајмера, акрилног малтера и акрилне фарбе, 1000km (произвођач Робиано ди Медиглиа, Италија до дистрибутера)	t*km	13.6	(transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO 5, RER) Материјали 13.05kg и амбалажа 0.55kg
Превоз лепка за изолационе плоче, акрилног прајмера и акрилног малтера 125km (дистрибутер до локације)	t*km	1.638	(transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER) Материјали 12.6kg и амбалажа 0.51kg
Превоз акрилног прајмера и акрилне фарбе 125km (дистрибутер до локације)	t*km	0.0613	(light commercial vehicle, RER) Материјали 0.45kg и амбалажа 0.04kg
Превоз стиропора, 125km (произвођач до дистрибутера)	t*km	0.218	(transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER) Стиропор 1.65kg и амбалажа 0.09kg
Превоз стиропора, 20km (дистрибутер до локације)	t*km	0.0348	(transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER) Стиропор 1.65kg и амбалажа 0.09kg
Превоз типлова за изолацију, 125km (произвођач до дистрибутера)	t*km	0.031	(transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5, RER) Типлови 0.201kg и амбалажа 0.0469kg
Превоз мреже од стаклених влакана, 125km (произвођач до дистрибутера)	t*km	0.023	(transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5, RER) Мрежица 0.16kg и амбалажа 0.0246kg
Превоз типлова и мреже 20km (дистрибутер до локације)	t*km	0.00768	(light commercial vehicle, RER) Материјали 0.361kg и амбалажа 0.023kg

**Табела ПХЗ: Анализа инвентара за изградњу сценарија Г6 (А5)**

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Производња упакованог хидратисаног креча за зидарски малтер + 5% отпад	kg	1.785	Приказано у Табели ПГ10 Количина малтера: 33l/m <sup>2</sup>
Превоз хидратисаног креча 125km (произвођач до дистрибутера)	t*km	2.30	( <i>transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Хидратисани креч 1.785kg и 0.053kg амбалажа
Производња упакованог цемента (СЕМII) за зидарски малтер + 5% отпад	kg	4.83	Приказано у Табели ПГ10.
Превоз цемента, 125km (произвођач до дистрибутера)	t*km	0.621	( <i>transport, freight, lorry &gt;32t metric ton, EURO 5, RER</i> ) Цемент 4.83kg и 0.14kg амбалажа
Производња упакованог песка за зидарски малтер + 5% отпад	kg	34.545	Приказано у Табели ПЦ9.
Превоз песка, 125km (произвођач до дистрибутера)	t*km	4.445	( <i>transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Песак 34.545kg и 1.01kg амбалажа
Превоз сировина за зидарски малтер, 20km	t*km	0.847	( <i>transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Материјали 41.16kg и 1.203kg амбалажа
Вода за малтер	kg	5.8	( <i>market for tap water, Europe without Switzerland</i> )
Примена мешалице за мешање зидарског малтера (21.5l/m <sup>2</sup> )	kWh	0.0225	( <i>market group for electricity, low voltage, RS</i> ) Претпоставља се 6 минута мешања за спремање малтера користећи електричну мешалицу (мотор 750w, капацитет 110l)
Производња блокова (5% отпад)	kg	8.750	Приказано у Табели ПГ6.
Превоз термо блокова, 125km (произвођач до дистрибутера)	t*km	1.116	( <i>transport, freight, lorry &gt;32 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Блокови 8.75kg и 0.177kg амбалажа
Превоз термо блокова, 20km (дистрибутер до локације)	t*km	0.179	( <i>transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Производња изолације од стиропора (5% отпад)	kg	0.083	Приказано у Табели ПГ7.
Превоз стиропора, 125km (произвођач до дистрибутера)	t*km	0.011	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Стиропор 0.083kg и амбалажа 0.004kg
Превоз стиропора, 20km (дистрибутер до локације)	t*km	0.00174	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Производња лепка за термоизолационе плоче (5% отпад)	kg	0.485	EPD MAPEI Mapotherm AR1 GG (Mapei 2017)

Производња прајмера за спољашњу и унутрашњу примену (15% отпад)	kg	0.0675	EPD Mapei Quarzolite Base Coat (Mapei 2018)
Танкослојни акрилни малтер (5% отпад)	kg	0.13	EPD MAPEI Quarzolite Tonachino (Mapei 2018)
Производња фарба (15% отпад)	kg	0.045	EPD Mapei Quarzolite Pittura (Mapei 2018)
Превоз лепка за изолационе плоче, прајмера, малтера и фарбе, 1000km (произвођач Робиано ди Медиглиа, Италија до дистрибутера)	t*km	0.761	( <i>transport, freight, lorry &gt;32 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Материјали 0.728kg и амбалажа 0.0333kg
Превоз лепка за изолационе плоче, прајмера и малтера 125km (дистрибутер до локације)	t*km	0.086	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Материјали 0.66kg и амбалажа 0.0279kg
Превоз прајмера и фарбе 125km (дистрибутер до локације)	t*km	9.11E-03	( <i>light commercial vehicle, RER</i> ) Материјали 0.0675kg и амбалажа 0.0054kg
Производња типлова (5% отпад)	број	0.3	Приказано у Табали ПГ8.
Превоз типлова за изолацију, 125km (произвођач до дистрибутера)	t*km	1.54E-03	( <i>transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Типлови 0.01kg и амбалажа 0.0023kg
Производња мреже од стаклених влакана (5% отпад)	m <sup>2</sup>	0.05	Приказано у Табали ПГ9.
Превоз мреже од стаклених влакана, 125km (произвођач до дистрибутера)	t*km	1.15E-03	( <i>transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Мрежица 0.008kg и амбалажа 0.00123kg
Превоз типлова и мреже 20km (дистрибутер до локације)	t*km	3.84E-04	( <i>light commercial vehicle, RER</i> ) Материјали 0.018kg и амбалажа 0.00115kg
Гипсани малтер	kg	0.485	EPD Rigips Plasters (Saint-Gobain 2019)
Примена мешалице за мешање лепка	kWh	0.0224	( <i>market group for electricity, low voltage, RS</i> ) Претпоставља се 2 минута мешања за спремање малтера користећи ручну електричну мешалицу (мотор 2100w, капацитет кофе 25l)
Примена воде	kg	2.3	( <i>market for tap water, Europe without Switzerland</i> ) 24% по маси праха према препоруци произвођача.
Превоз гипсаног малтера, 430km (произвођач Турда, Румунија до дистрибутера)	t*km	0.378	( <i>transport, freight, lorry &gt;32 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Малтер 0.85kg и амбалажа 0.025kg
Превоз гипсаног малтера, 125km (дистрибутер до локације)	t*km	0.110	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> )

Примена мешалице за мешање гипсаног малтера	kWh	0.056	(market group for electricity, low voltage, RS) Претпоставља се 2 минута мешања за спремање малтера користећи ручну електричну мешалицу (мотор 2100w, капацитет кофе 25l)
Вода	kg	13.6	(market for tap water, Europe without Switzerland) Препорука произвођача.
Превоз палета за откуп, просечна раздаљина 20km	t*km	0.113	(transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5, RER)
Превоз отпада до депоније, просечна раздаљина 20km	t*km	0.264	(transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5, RER)
Депоноване инертног отпада	kg	13.199	Приказано у Табели ПБ14.
Утицај одлагања пластичне амбалаже	kg	0.460	(treatment of waste polyethylene, open dump, dry infiltration class (100mm), GLO)
Утицај одлагања полипропиленских цакова	kg	0.139	(treatment of waste polypropylene, open dump, dry infiltration class (100mm), GLO)
Утицај одлагања папирне амбалаже	kg	0.0686	(treatment of waste graphical paper, open dump, dry infiltration class (100mm), GLO)
Утицај одлагања картонске амбалаже	kg	0.0243	(treatment of waste paperboard, open dump, dry infiltration class (100mm), GLO)
Утицај одлагања стиропора	kg	0.0825	(treatment of waste polystyrene, open dump, dry infiltration class (100mm), GLO)

**Табела ПХ4: Анализа инвентара за фазу коришћење функционалне јединице Т (Б1-Б7)**

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Цементни лепак за лепљење и глетовање изолационих плоча + 5% отпад (1 обнова)	kg	10.185	EPD MAPEI Mapetherm AR1 GG (Mapei 2017)
Превоз цементног лепка, 1000km (произвођач Робиано ди Медиглиа, Италија, до дистрибутера)	t*km	10.5	( <i>transport, freight, lorry &gt;32 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Лепак 10.185kg и амбалажа 0.301kg
Превоз цементног лепка, 125km (дистрибутер до локације)	t*km	1.313	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Изолација од стиропора + 5% отпада (1 обнова)	kg	1.733	Приказано у Табели ПГ7.
Превоз стиропора, 125km (произвођач до дистрибутера)	t*km	0.228	( <i>transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Стиропор 1.733kg и амбалажа 0.09kg
Превоз стиропора, 20km (дистрибутер до локације)	t*km	0.036	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Пластични типлови за изолацију + 5% отпад	број	6.3	Приказано у Табели ПГ8.
Мрежа од стаклених влакана + 5% отпад	m <sup>2</sup>	1.05	Приказано у Табели ПГ9.
Превоз типлова за изолацију, 125km (произвођач до дистрибутера)	t*km	0.0325	( <i>transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Типлови 0.211kg и амбалажа 0.0492kg
Превоз мреже од стаклених влакана, 125km (произвођач до дистрибутера)	t*km	0.025	( <i>transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Мрежица 0.168kg и амбалажа 0.0258kg
Превоз типлова и мреже 20km (дистрибутер до локације)	t*km	0.008	( <i>light commercial vehicle, RER</i> ) Материјали 0.379kg и амбалажа 0.0243kg
Акрилни прајмер + 15% отпад (9 обнова)	kg	3.105	EPD Mapei Quarzolite Base Coat (Mapei 2018)
Танкослојни акрилни малтер + 5% отпад (9 обнова)	kg	24.57	EPD MAPEI Quarzolite Tonachino (Mapei 2018)
Превоз акрилног прајмера, и акрилног малтера, 1000km (произвођач Робиано ди Медиглиа, Италија, до дистрибутера)	t*km	29.55	( <i>transport, freight, lorry &gt;32 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Материјали 27.675kg и 1.877kg амбалажа
Превоз акрилног прајмера и акрилног малтера, 125km (дистрибутер до локације)	t*km	3.694	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> )

Гипсани малтер + 5% отпад (2 обнове)	kg	35.7	EPD Rigips Plasters (Saint-Gobain 2019)
Превоз гипсаног малтера, 430km (произвођач Турда, Румунија до дистрибутера)	t*km	15.798	( <i>transport, freight, lorry &gt;32 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Гипсани малтер 35.7kg и 1.042kg амбалажа
Превоз гипсаног малтера, 125km (дистрибутер до локације)	t*km	4.592	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Акрилни прајмер + 15% отпад (9 обнова)	kg	1.553	EPD Mapei Quarzolite Base Coat (Mapei 2018)
Акрилна фарба + 15% отпад (9 обнова)	kg	3.105	EPD Mapei Quarzolite Pittura (Mapei 2018)
Превоз акрилног прајмера, и акрилне фарбе, 1000km од произвођача (Робиано ди Медиглиа, Италија) до дистрибутера	t*km	4.98	( <i>transport, freight, lorry &gt;32 metric ton, EURO 5, RER</i> ) Материјали 4.658kg и 0.324kg амбалажа
Превоз акрилног прајмера и акрилне фарбе 125km од дистрибутера до локације	t*km	0.604	( <i>light commercial vehicle, RER</i> ) Материјали 4.658kg и 0.175kg амбалажа
Укупна потрошња струје за мешање лепка и гипсаног малтера	kWh	0.134	( <i>market group for electricity, low voltage, RS</i> )
Укупна потрошња воде	kg	29.5	( <i>market for tap water, Europe without Switzerland</i> )
Потрошња струје за прање фасаде (10 прања)	kWh	0.525	( <i>market group for electricity, low voltage, RS</i> ) 40m <sup>2</sup> зида по сату (2100w)
Потрошња воде за прање фасаде (10 прања)	kg	120	( <i>market for tap water, Europe without Switzerland</i> ) Проток воде од 500l по сату
Превоз палета за откуп, 20km	t*km	0.044	( <i>transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Превоз отпада до депоније, 20km	t*km	1.494	( <i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5, RER</i> )
Депонованье инертног отпада	kg	74.702	Приказано у Табели ПБ14.
Утицај одлагања пластике	kg	1.648	( <i>treatment of waste polyethylene, open dump, dry infiltration class (100mm), GLO</i> )
Утицај одлагања папирне амбалаже	kg	0.041	( <i>treatment of waste graphical paper, , open dump, dry infiltration class (100mm), GLO</i> )
Утицај одлагања картонске амбалаже	kg	0.0243	( <i>treatment of waste paperboard, , open dump, dry infiltration class (100mm), GLO</i> )
Утицај одлагања стиропора	kg	1.733	( <i>treatment of waste polystyrene, , open dump, dry infiltration class (100mm), GLO</i> )



Карбонатизација кречно-цементног малтера	kgCO <sub>2eq.</sub>	-1.735	<p>Степен карбонатизације хидратисаног креча:82.5%</p> <p>Карбонатизација цемента се рачуна приказаном формулом.</p> $V_{CO} = M_C \cdot M_{CaO} \cdot \frac{MM_{CO_2}}{MM_{CaO}} \cdot S_{KAR}$ <p><math>V_{PCO_2}</math>: Везани CO<sub>2</sub> карбонатизацијом цемента</p> <p><math>M_{PC}</math>: маса цемента</p> <p><math>M_{CaO}</math>: удео CaO у 1kg цемента (0.461kg)</p> <p><math>MM_{CO_2}</math>: моларна маса CO<sub>2</sub> (44g/mol)</p> <p><math>MM_{CaO}</math>: моларна маса CaCO<sub>3</sub> (56g/mol)</p> <p><math>S_{KAR}</math>: степен карбонатизације (57.5%)</p>
--	----------------------	--------	--

**Табела ПХ5: Анализа инвентара за фазу одлагања сценарија Гб (Ц1-Ц4)**

Процес	Јединица	Количина	Образложење/Извор
Рушење објекта	m <sup>3</sup>	0.27	( <i>excavation, hydraulic digger, RER</i> )
Превоз фасадног система на депонију, 20km	t*km	0.551	( <i>transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6, RER</i> )
Превоз остатка функционалне јединице у центар за сортирање грађевинског отпада, 20km	t*km	4.770	( <i>transport, freight, lorry &gt;32 metric ton, EURO 6, RER</i> )
Сортирање грађевинског отпада	kg	238.52	( <i>treatment of waste brick, sorting plant, Europe without Switzerland</i> )
Превоз неупотребљивог отпада, 20km	t*km	0.477	( <i>transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6, RER</i> )
Одлагање инертног грађевинског отпада, фасада и неупотребљиви отпад	kg	49.55	( <i>process-specific burdens, sanitary landfill, CH</i> )
Одлагање стиропора	kg	1.65	( <i>treatment of waste polystyrene, sanitary landfill, CH</i> )
Одлагање пластичних типлова	kg	0.201	( <i>treatment of waste polyethylene, sanitary landfill, CH</i> )

## Биографија

Илија Бошковић је рођен 1990. у Београду. Гимназију завршава у Мејдстоуну у Енглеској. Основне академске студије на Департману за Архитектуру и Грађевинарство на Универзитету у Бату у Енглеској уписује 2008. године и завршава 2012. године. Мастер академске студије на Департману за Архитектуру и Грађевинарство на Универзитету у Бату уписује 2012. године и завршава 2014. године. У склопу студија завршава праксу од 6 месеци у Урбанистичком заводу Београда и две праксе од укупно 9 месеци у Институту за архитектуру и урбанизам Србије. Од 2014. године ради активно на породничном пољопривредном газдинсту. Докторске академске студије уписује 2015. године на Архитектонском факултету Универзитета у Београду. Изабран је у звање истраживач приправник крајем 2021. године.

## Публикације:

Bošković, Ilija and Ana Radivojević. 2023. "Life cycle greenhouse gas emissions of hemp-lime concrete wall constructions in Serbia: The impact of carbon sequestration, transport, waste production and end of life biogenic carbon emission." *Journal of Building Engineering* 66: 105908.

<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.105908>

Bošković, Ilija and Ana Radivojević. 2022. "Promoting bio-based building materials as a means of bridging the urban-rural divide in Serbia." *Ecocity World Summit 2021-22: Conference Proceedings*, Rotterdam, 2022, 343-351. Oakland: Ecocity Builders. ISBN: 978-0-578-77618-7

## Изјава о ауторству

Име и презиме аутора: **Илија (Радован) Бошковић**

Број индекса: ДЗ/2015

### Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом:

#### **ФОРМИРАЊЕ МОДЕЛА ЗА ПРОЦЕНУ ЖИВОТНОГ ЦИКЛУСА БЕТОНА ОД КОНОПЉЕ И КРЕЧА У КОНТЕКСТУ СРБИЈЕ**

- 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 кршио/ла ауторска права и користио/ла интелектуалну својину других лица.

Потпис аутора

У Београду, \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## **Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада**

Име и презиме аутора: **Илија (Радован) Бошковић**

Број индекса: ДЗ/2015

Студијски програм: Докторске академске студије – Архитектура и урбанизам

Наслов рада: **ФОРМИРАЊЕ МОДЕЛА ЗА ПРОЦЕНУ ЖИВОТНОГ ЦИКЛУСА БЕТОНА ОД КОНОПЉЕ И КРЕЧА У КОНТЕКСТУ СРБИЈЕ**

Ментор: **др Ана Радивојевић, редовни професор**

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла 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:

### **ФОРМИРАЊЕ МОДЕЛА ЗА ПРОЦЕНУ ЖИВОТНОГ ЦИКЛУСА БЕТОНА ОД КОНОПЉЕ И КРЕЧА У КОНТЕКСТУ СРБИЈЕ**

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 одлучио/ла.

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)

Потпис аутора

У Београду, \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

1. **Ауторство.** Дозвољаваате умножавање, 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.** Дозвољаваате умножавање, 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.** Дозвољаваате умножавање, 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.** Дозвољаваате умножавање, 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.** Дозвољаваате умножавање, 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.** Дозвољаваате умножавање, 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.