

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ

Марија Д. Лалошевић

**СНИЖЕЊЕ ТЕМПЕРАТУРЕ ВАЗДУХА И
КОНЦЕНТРАЦИЈЕ CO₂ У УРБАНИМ
СРЕДИНАМА ПРИМЕНОМ
ВЕГЕТАЦИОНИХ КРОВОВА**

ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА

Београд, 2019.

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

Marija D. Lalošević

**REDUCTION OF AIR TEMPERATURE AND
CONCENTRATION OF CO₂ IN URBAN
ENVIRONMENTS USING VEGETATIVE
ROOFS**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2019

Ментор:

Проф. др Мирко Коматина, редовни професор
Универзитет у Београду, Машински факултет

Чланови Комисије за преглед и одбрану докторске дисертације:

Проф. др Мирко Коматина, редовни професор
Универзитет у Београду, Машински факултет

Проф. др Милош Бањац, редовни професор
Универзитет у Београду, Машински факултет

Проф. др Бранислав Живковић, редовни професор
Универзитет у Београду, Машински факултет

Проф. др Марко Милош, редовни професор
Универзитет у Београду, Машински факултет

др Вукман Бакић, научни саветник
Институт за нуклеарне науке Винча

Датум одбране: _____

СНИЖЕЊЕ ТЕМПЕРАТУРЕ ВАЗДУХА И КОНЦЕНТРАЦИЈЕ CO₂ У УРБАНИМ СРЕДИНАМА ПРИМЕНОМ ВЕГЕТАЦИОНИХ КРОВОВА

Сажетак

Дисертација се односи на вегетационе (зелене) кровове као на један од сегмената зелене инфраструктуре у градовима, који представљају савремени приступ у проналажењу одрживих решења развоја, побољшања енергетске ефикасности и заштите животне средине. Вегетациони кровови користе се не само за враћање природног елемента у урбано окружење, већ и за пружање реалних решења за важне проблеме као што су ефекат урбаних топлотних острва и високе концентрације CO₂ у градовима.

Предмет докторске дисертације је квантификација последица примене система вегетационих кровова, екстензивних и интензивних, на постојећим објектима са равним крововима на микроклиму ужег градског језгра Београда.

Дисертацијом се истражују и објашњавају ефекти локалног снижења температуре околине и смањења емисије CO₂ имплементацијом система зелених кровова у селектованим стамбеним зонама Београда. Истражен је и комбиновани утицај система вегетационих кровова и употребе материјала високих вредности албеда у јавним просторима на снижење температуре у урбаним срединама.

Извршена су истраживања за четири изабране урбане целине у постојећим стамбеним блоковима у Београду које због својих специфичности репрезентују типичне моделе урбанистичког планирања и изградње делова територије Београда. Осмишљен је и развијен модел који репрезентује постојеће стање и сопствени модели утицаја вегетационих кровова, за које су истражене промене температуре спољне средине и концентрације CO₂, типичног летњег дана у Београду. За потребе спровођења симулација коришћен је прогностички софтверски микроклиматски модел ENVI-met.

Извршена је анализа и поређење добијених резултата за различите типове изградње и постављене моделе утицаја вегетационих кровова. На основу резултата истраживања закључује се да инсталација система зелених кровова на

већој групацији грађевинских објеката доприноси снижењу спољашње температуре ваздуха и снижењу концентрације CO₂. Истраживање ефекта примене система зелених кровова у комбинацији са употребом материјала повољнијих термичких карактеристика у јавним просторима у урбаним зонама даје побољшане резултате у ублажавању ефекта урбаног топлотног острва.

Примењена методологија показала је да употреба вегетационих кровова може допринети побољшању микроклиматских параметара у климатским условима Београда.

Ово истраживање које извештава о позитивним микроклиматским ефектима вегетационих кровова, пружа научну основу за разумевање њихове употребе на постојећим и планираним зградама у климатским условима Београда и представља основу за даља истраживања у овој области.

Кључне речи: зелени кровови, урбано топлотно острво, урбана микроклима, редуковање CO₂, ENVI-met

Научна област: термомеханика

УДК број: 551.584.5 : [712.252 : 692.4(479.11 Beograd)](043.3)
504.3.054 : [712.252 : 692.4(479.11 Beograd)](043.3)

REDUCTION OF AIR TEMPERATURE AND CONCENTRATION OF CO₂ IN URBAN ENVIRONMENTS USING VEGETATIVE ROOFS

Abstract

The dissertation refers to vegetative (green) roofs as one of the segments of green infrastructure in cities that represent a modern approach to finding sustainable solutions, improving energy efficiency and protecting the environment. Vegetative roofs are used not only to return a natural element to the urban environment, but also to provide realistic solutions for important problems such as the effect of urban heat islands and high concentrations of CO₂ in cities.

The subject of this doctoral dissertation is the quantification of the effects of the application of the system of green roofs (both extensive and intensive) on flat roofs of existing buildings on the microclimate of the city core of Belgrade.

The dissertation explores and explains how outdoor temperature and CO₂ concentration can be reduced by implementing the green roof system in selected urban units of Belgrade. The research also explored the combined influence of green roofs and the use of high albedo materials in public spaces on the reduction of air temperature in urban areas.

The research was conducted on four selected urban units within existing residential blocks in the city of Belgrade which, due to their specificity, represent typical models of urban planning and construction within the metropolitan area. Five different models (the baseline model and four potential models of retrofitting) were designed and developed. The simulations of temperature changes of the external environment and CO₂ concentrations for all presented models for a typical summer day in Belgrade were carried out and researched. ENVI-met software was used to model the simulations.

An analysis and comparison of the results obtained from baseline model and all the proposed retrofitting model simulations were conducted. The results of the research showed that utilizing green roofs on a larger group of buildings could reduce air temperature in the surroundings and lower the concentration of CO₂. This study of the effects of utilizing green roofs combined with materials with more favourable

thermal characteristics in public spaces in urban areas showed improved results in mitigating the effects of urban heat islands.

It can be concluded from this research that the installation of green roof systems on larger urban matrices or in urban neighbourhoods would contribute to reductions in outdoor air temperature and CO₂ concentration.

By using the proposed methodology, it is shown that the use of green roofs can contribute to the improvement of the outdoor urban microclimate parameters of climatic conditions in Belgrade.

This study reports the positive microclimate impact of green roofs, provides a scientific basis for understanding the use of vegetative roofs on existing and planned buildings in the Belgrade climatic zone and forms the basis for further research in this field.

Key words: green roofs, urban heat island, outdoor urban microclimate, CO₂ reduction, ENVI-met

Scientific field: thermomechanics

UDK number: 551.584.5 : [712.252 : 692.4(479.11 Beograd)](043.3)

504.3.054 : [712.252 : 692.4(479.11 Beograd)](043.3)

*Захвална сам свом супругу на љубави и подршци,
својим родитељима на лекцијама о вредностима и дисциплини,
драгим пријатељима на разумевању,
драгим бићима на радости коју деле самном
и свим својим учитељима и менторима на отворености, мотивацији, стрпљењу
и спремности да ме воде кроз узбудљиви свет учења и истраживања.*

Ова докторска дисертација је наш заједнички успех.

САДРЖАЈ

| | |
|---|----|
| Сажетак са кључним речима на српском језику | |
| Апстракт са кључним речима на енглеском језику | |
| Предговор | |
| Садржај | |
| Списак и извори слика и табела | |
| | |
| 1. УВОД..... | 1 |
| 1.1 Општи увод | 1 |
| 1.1.1 Зелени кровови – подела, структура, карактеристике, употреба | 3 |
| Компоненте (структура) зелених кровова..... | 7 |
| Мултифункционално коришћење зелених кровова | 11 |
| 1.1.2 Појмови и дефиниције везани за вегетационе кровове | 13 |
| Урбано топлотно острво | 13 |
| Зелена инфраструктура | 15 |
| 1.1.3 Улога вегетационих кровова у побољшању микроклиматских параметара.... | 16 |
| 1.1.4 Потенцијал и улога постојећег грађевинског фонда | 18 |
| 1.1.5 Претходна анализа општих информација о предмету истраживања | 21 |
| Политике градова и држава и резултати спровођења политика | 21 |
| Институционални развој у промоцији зелених кровова | 26 |
| Базе објеката са зеленим крововима..... | 26 |
| Актуелност употребе | 27 |
| Република Србија и град Београд | 28 |
| 2. ПРЕГЛЕД И АНАЛИЗА ЛИТЕРАТУРЕ | 29 |
| 2.1 Снижење температуре ваздуха у урбаним срединама применом вегетационих кровова | 31 |
| 2.2 Снижавање концентрације CO ₂ у урбаним срединама применом вегетационих кровова | 34 |
| 3. ПРЕДМЕТ И ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА, ПРОБЛЕМИ И ХИПОТЕЗЕ, ФАЗЕ ИСТРАЖИВАЊА И СТРУКТУРА ДИСЕРТАЦИЈЕ..... | 38 |
| 3.1 Предмет и циљ истраживања | 38 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 3.2 | Основни проблеми истраживања | 40 |
| 3.3 | Полазне хипотезе истраживања..... | 41 |
| 3.4 | Научне методе истраживања..... | 41 |
| 3.5 | Научна оправданост истраживања | 42 |
| 3.6 | Фазе истраживања и структура дисертације | 43 |
| 4. | ПРЕГЛЕД МОДЕЛА У ИСТРАЖИВАЊИМА ЗЕЛЕНИХ КРОВОВА..... | 46 |
| 4.1 | Софтверски алати у истраживањима утицаја зелених кровова | 46 |
| 4.2 | ENVI-met..... | 49 |
| 4.3 | ENVI-met input и output | 50 |
| 4.4 | Опште карактеристике ENVI-met модела и метод | 51 |
| 5. | МОДЕЛ..... | 55 |
| 5.1 | Локације..... | 55 |
| 5.2 | Модел постојећег стања..... | 58 |
| 5.3 | Модел утицаја вегетационих кровова | 67 |
| 5.4 | Иницијални параметри и карактеристике модела..... | 72 |
| 5.5 | Параметри модела | 76 |
| 6. | РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА..... | 78 |
| 6.1 | Истраживање ефеката примене система зелених кровова на снижење температуре ваздуха у урбаном окружењу за климатске услове Београда..... | 78 |
| 6.2 | Истраживање ефеката примене система зелених кровова на смањење емисије CO ₂ у урбаном окружењу за климатске услове Београда..... | 102 |
| 6.3 | Поређење и валидација резултата истраживања | 122 |
| 6.3.1 | Температура ваздуха | 122 |
| 6.3.2 | Концентрација CO ₂ | 123 |
| 7. | ЗАКЉУЧАК | 126 |
| | ЛИТЕРАТУРА..... | 132 |
| | Биографија аутора | |
| | Изјава о ауторству | |
| | Изјава о истовестности штампане и електронске верзије докторског рада | |
| | Изјава о коришћењу | |

Списак и извори слика и табела

Слике:

поглавље 1

- Слика 1.1:** Екстензивни зелени кров (Фото: М. Лалошевић, 2017.)
- Слика 1.2:** Интензивни зелени кров (Извор: <https://www.timeout.com/tokyo/blog/new-mega-complex-ginza-six-will-come-with-a-funky-rooftop-garden-020317>, фото: Mari Hiratsuka, приступљено 20.04.2018.)
- Слика 1.3:** The California Academy of Sciences, Сан Франциско, САД (целина) (Извор: <http://www.landezine.com/>, фото: Tom Fox, приступљено 12.08.2017.)
- Слика 1.4:** The California Academy of Sciences, Сан Франциско, САД (деталј) (Извор: <http://www.landezine.com/>, фото: Tom Fox, приступљено 12.08.2017.)
- Слика 1.5:** Екстензивни вегетациони кров у нагибу, делимично доступан за коришћење. The Nurag Pavilion, Њујорк, САД (Фото: М. Лалошевић, 2017.)
- Слика 1.6:** Заталасани екстензивни зелени кров у нагибу од 8 до 52 степена, SSE HYDRO мултифункционална арена, Глазгов, Шкотска (Фото: М. Лалошевић, 2018.)
- Слика 1.7:** Неприступачни екстензивни зелени кров на Kinnard Primary School (Лаерберт, Велика Британија) (Извор: <https://www.sepaview.com/2015/06/scottish-green-infrastructure-forum/#prettyPhoto/0/>, фото: Bauder, приступљено 06.02.2018.)
- Слика 1.8:** Екстензивни зелени кров доступан само по задатим трајекторијама, Jacob K. Javits Convention Center of New York, Њујорк, САД (Фото: М. Лалошевић, 2017.)
- Слика 1.9:** Интензивни кровни врт породичне куће, Лондон, Велика Британија (Извор: <http://www.urbangreenbluegrids.com/measures/green-roofs/intensive-green-roofs/>, приступљено 22.05.2018.)
- Слика 1.10:** Интензивни вегетациони кров, Baltimore Convention Center, Балтимор, САД (Извор: <http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=1337>, приступљено 21.02.2018.)
- Слика 1.11:** Шематски приказ компоненти зеленог крова (Извор оригиналне илустрације: <http://aj-3d.com/infopages/InfoPRGreenRoof.html>, приступљено 13.10.2018.)
- Слика 1.12:** Урбана агрикултура, зелени кров Универзитета Ryerson (Извор: <http://www.greenroofs.com/blog/2016/03/11/living-green-infrastructure-heart-gre-green-2016>, фото: Ryerson University, приступљено 18.04.2018.)
- Слика 1.13 :** Екстензивни зелени кров у активном коришћењу, Универзитетска библиотека, Делфт, Холандија (Извор: <https://indebuurt.nl/delft/nieuws/trots-twee-studies-in-delft-zijn-de-beste-ter-wereld~49915/>, фото: Delft Image Bank, приступљено 04.04.2018.)
- Слика 1.14:** Слободно време и одмор, социјална компонента коришћења вегетационих кровова (Извор: <http://www.greenroofs.com/blog/2016/03/11/living-green-infrastructure-heart-gre-green-2016>, фото: Scott Torrance, приступљено 18.04.2018.)
- Слика 1.15:** Мултифункционално коришћење зеленог крова – едукација деце – интензивни кровни врт The Brooklyn Children’s Museum Њујорк, САД (Извор: https://inhabitat.com/nyc/the-brooklyn-childrens-museums-new-green-roof-lets-kids-explore-the-wilderness-in-the-middle-of-the-city/img_0854-2/, приступљено 12.02.2018.)

- Слика 1.16:** High Line Park, Њујорк, САД, интензивни вегетациони кров (Фото: М. Лалошевић, 2017.)
- Слика 1.17:** Liberty Park NY, САД, интензивни зелени кров (Фото: М. Лалошевић, 2017.)
- Слика 1.18:** Типични профил урбаног топлотног острва (Извор: Heat Island Group, Lawrence Berkeley National Laboratory, 2013, <https://heatisland.lbl.gov/>, приступљено 17.02.2018.)
- Слика 1.19:** Елементи зелене инфраструктуре у урбаним срединама (Извор оригиналне илустрације: Arup/UK Green Buildings Council, 2015, <https://www.sepaview.com/2015/06/cities-alive-rethinking-green-infrastructure/#prettyPhoto>, приступљено 05.10.2017.)
- Слика 1.20:** Систем екстензивних зелених кровова на стамбеним објектима, Хамбург, Немачка (Фото: М. Перић, 2014.)
- Слика 1.21:** Chicago City Hall, Dept of Environment (Извор: <http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=21>, приступљено 22.01.2018.)
- Слика 1.22:** Chicago City Hall (Извор: Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies, United States Environmental Protection Agency – EPA, https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-05/documents/reducing_urban_heat_islands_ch_3.pdf, приступљено 16.04.2018.)
- Слика 1.23:** Vancouver Public Library (Извор: <http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=29>, приступљено 22.01.2018.)
- Слика 1.24:** Примери зелених кровова, одабрани према Green Roofs for Excellence awards, на објектима различитих намена: стамбени објекти (1, 2), објекти пословања и комерцијале (3, 4), јавне институције (5, 6) (Извор: <https://greenroofs.org/awards-of-excellence/> и <http://www.recovergreenroofs.com/>, приступљено 27.02.2018.)

поглавље 4

- Слика 4.1:** Основна структура ENVI-met-а (Извор: Huttner 2012 [1])
- Слика 4.2:** ENVI-met модел (Извор: Bruse 1999 [2])
- Слика 4.3:** Мапа подручја (input)(1), ENVI-met layout (2) и Leonardo output (3) (Извор: Ozkeresteci at al. 2003 [3])

поглавље 5

- Слика 5.1:** Локације истраживаних урбаних структура на мапи Београда (Извор: аутор)
- Слика 5.2:** Сателитски снимци локација са границама истраживања (Извор сателитског снимка: <https://www.bing.com/maps> доступно 29.05.2017. Извор границе истраживања: аутор)
- Слика 5.3:** Модели постојећег стања – Realcity model (RC) урбаних структура BGD01, BGD02, BGD03 и BGD04 (Input – 3D приказ) (Извор: аутор)
- Слика 5.4:** Input file Realcity model BGD02 – приказ фазе позиционирања и моделирања објеката и зеленила на основу претходно припремљене и дигитализоване мапе подручја (Извор: аутор)
- Слика 5.5:** Input file Realcity model BGD02 – модел тла (input soil) (Извор: аутор)

- Слика 5.6:** Input file Reacity model BGD02 – 3D приказ језгра модела (core model) (Извор: аутор)
- Слика 5.7:** Reacity model (RC) локације BGD01 (2D приказ) (Извор: аутор)
- Слика 5.8:** Reacity model (RC) локације BGD02 (2D приказ) (Извор: аутор)
- Слика 5.9:** Reacity model (RC) локације BGD03 (2D приказ) (Извор: аутор)
- Слика 5.10:** Reacity model (RC) локације BGD04 (2D приказ) (Извор: аутор)
- Слика 5.11:** Reacity model (RC) урбаних структура BGD01, BGD02, BGD03 и BGD04 (зумирани 3D приказ) – ENVI-met layout (Извор: аутор)
- Слика 5.12:** Reacity model+extensive green roof (RC+EX) урбаних структура BGD01, BGD02, BGD03 и BGD04 (зумирани 3D приказ) – ENVI-met layout (Извор: аутор)
- Слика 5.13:** Интензивни зелени кровови (RC+IN и F+) локације BGD03 (2D приказ) – ENVI-met layout (Извор: аутор)
- Слика 5.14:** Интензивни зелени кровови локације BGD03 (3D приказ) – ENVI-met layout (Извор: аутор)
- Слика 5.15:** Интензивни зелени кровови локације BGD03 (3D приказ) – ENVI-met layout (Извор: аутор)
- Слика 5.16:** Материјали завршне обраде слободних простора урбане структуре BGD03 – Future model (Извор: аутор)
- Слика 5.17:** Материјали завршне обраде слободних простора урбане структуре BGD03 – Future+ model (Извор: аутор)
- Слика 5.18:** Урбане структуре са позицијама контролних тачака – 2D приказ – ENVI-met layout (Извор: аутор)

поглавље 6

- Слика 6.1:** Температура ваздуха на нивоу пешака (1.5 m) код модела постојећег стања (RC) и потенцијалне температурне промене код модела утицаја вегетационих кровова (RC+EX, RC+IN, F, F+) за локације BGD01, BGD02, BGD03 и BGD04, 23.06. у 07:00 сати (Извор: аутор)
- Слика 6.2:** Температура ваздуха на нивоу пешака (1.5 m) код модела постојећег стања (RC) и потенцијалне температурне промене код модела утицаја вегетационих кровова (RC+EX, RC+IN, F, F+) за локације BGD01, BGD02, BGD03 и BGD04, 23.06. у 13:00 сати (Извор: аутор)
- Слика 6.3:** Температура ваздуха на нивоу пешака (1.5 m) код модела постојећег стања (RC) и потенцијалне температурне промене код модела утицаја вегетационих кровова (RC+EX, RC+IN, F, F+) за локације BGD01, BGD02, BGD03 и BGD04, 23.06. у 19:00 сати (Извор: аутор)
- Слика 6.4:** Температура ваздуха на нивоу пешака (1.5 m) код модела постојећег стања (RC) и потенцијалне температурне промене код модела утицаја вегетационих кровова (RC+EX, RC+IN, F, F+) за локације BGD01, BGD02, BGD03 и BGD04, 24.06. у 01:00 сат (Извор: аутор)

- Слика 6.5:** Максималне разлике у температури ΔT ($^{\circ}\text{C}$) за ниво пешака и ниво кровних равни за 4 модела утицаја вегетационих кровова (RC+EX, RC+IN, F, F+) у односу на модел постојећег стања (RC) на 4 локације (BGD01, BGD02, BGD03, BGD04) у Београду за 23.06. у 7:00, 13:00, 19:00 и 24.06. у 1:00 (Извор: аутор)
- Слика 6.6:** Поређење температура у $^{\circ}\text{C}$ за ниво пешака (1.5 m) за контролне тачке R1, R2 и R3 за модел постојећег стања (Realcity) и 4 модела утицаја вегетационих кровова (RC+EX, RC+IN, F, F+) на 4 локације (BGD01, BGD02, BGD03, BGD04) у Београду за 23.06. у 7:00 и 13:00 сати (Извор: аутор)
- Слика 6.7:** Поређење температура у $^{\circ}\text{C}$ за ниво пешака (1.5 m) за контролне тачке R1, R2 и R3 за модел постојећег стања (Realcity) и 4 модела утицаја вегетационих кровова (RC+EX, RC+IN, F, F+) на 4 локације (BGD01, BGD02, BGD03, BGD04) у Београду за 23.06. у 19:00 сати и 24.06. у 01:00 сат (Извор: аутор)
- Слика 6.8:** Концентрација CO_2 (ppm) на нивоу пешака (1.5 m), 7.5 m и 17.5 m висине за модел постојећег стања (Realcity) и моделе утицаја вегетационих кровова (Realcity+EX и Realcity+IN) на подручју локације BGD03, 23.06. у 07:00 сати (Извор: аутор)
- Слика 6.9:** Минимална и максимална концентрација CO_2 (ppm) за модел постојећег стања (Realcity) и моделе утицаја вегетационих кровова (Realcity+EX и Realcity+IN) на нивоу пешака (1.5 m), 7.5 m и 17.5 m висине, 23.06. у 07:00 сати (Извор: аутор)
- Слика 6.10:** Минимална и максимална концентрација CO_2 (ppm) за модел постојећег стања (Realcity) и моделе утицаја вегетационих кровова (Realcity+EX и Realcity+IN) на нивоу пешака (1.5 m), 7.5 m и 17.5 m висине, 23.06. у 13:00 сати (Извор: аутор)
- Слика 6.11:** Минимална и максимална концентрација CO_2 (ppm) за модел постојећег стања (Realcity) и моделе утицаја вегетационих кровова (Realcity+EX и Realcity+IN) на нивоу пешака (1.5 m), 7.5 m и 17.5 m висине, 23.06. у 19:00 сати (Извор: аутор)
- Слика 6.12:** Минимална и максимална концентрација CO_2 (ppm) за модел постојећег стања (Realcity) и моделе утицаја вегетационих кровова (Realcity+EX и Realcity+IN) на нивоу пешака (1.5 m), 7.5 m и 17.5 m висине, 24.06. у 01:00 сат (Извор: аутор)
- Слика 6.13:** Разлика у концентрацији CO_2 (ppm) модела утицаја екстензивних вегетационих кровова (RC+EX) у односу на модел постојећег стања (RC) – прикази на 1.5 m, 7.5 m и 17.5 m висине, попречном и подужном пресеку, 23.06. у 07:00 сати (Извор: аутор)
- Слика 6.14:** Разлика у концентрацији CO_2 (ppm) модела утицаја интензивних вегетационих кровова (RC+IN) у односу на модел постојећег стања (RC) – прикази на 1.5 m, 7.5 m и 17.5 m висине, попречном и подужном пресеку, 23.06. у 7:00 сати (Извор: аутор)
- Слика 6.15:** Разлика у концентрацији CO_2 (ppm) модела утицаја екстензивних вегетационих кровова (RC+EX) у односу на модел постојећег стања (RC) – прикази на 1.5 m, 7.5 m и 17.5 m висине, попречном и подужном пресеку, 23.06. у 13:00 сати (Извор: аутор)
- Слика 6.16:** Разлика у концентрацији CO_2 (ppm) модела утицаја интензивних вегетационих кровова (RC+IN) у односу на модел постојећег стања (RC) – прикази на 1.5 m, 7.5 m и 17.5 m висине, попречном и подужном пресеку, 23.06. у 13:00 сати (Извор: аутор)
- Слика 6.17:** Графички приказ разлика у концентрацији CO_2 (ppm) модела утицаја интензивних вегетационих кровова (RC+IN) у односу на модел постојећег стања (RC) – приказ на 1.5 m, 23.06. у 7:00 сати (Извор: аутор)

- Слика 6.18:** Графички приказ разлика у концентрацији CO₂ (ppm) модела утицаја интензивних вегетационих кровова (RC+IN) у односу на модел постојећег стања (RC) – приказ на 1.5 m, 24.06. у 1:00 сат (Извор: аутор)
- Слика 6.19:** Графички приказ разлика у концентрацији CO₂ (ppm) модела утицаја интензивних вегетационих кровова (RC+IN) у односу на модел постојећег стања (RC) – приказ на 7.5 m, 23.06. у 7:00 сати (Извор: аутор)
- Слика 6.20:** Графички приказ разлика у концентрацији CO₂ (ppm) модела утицаја интензивних вегетационих кровова (RC+IN) у односу на модел постојећег стања (RC) – приказ на 7.5 m, 24.06. у 1:00 сат (Извор: аутор)
- Слика 6.21:** Графички приказ разлика у концентрацији CO₂ (ppm) модела утицаја интензивних вегетационих кровова (RC+IN) у односу на модел постојећег стања (RC) – приказ на 17.5 m, 23.06. у 7:00 сати (Извор: аутор)
- Слика 6.22:** Графички приказ разлика у концентрацији CO₂ (ppm) модела утицаја интензивних вегетационих кровова (RC+IN) у односу на модел постојећег стања (RC) – приказ на 17.5 m, 24.06. у 1:00 сат (Извор: аутор)

Табеле:

поглавље 1

Табела 1.1: Класификација зелених кровова, главне карактеристике и референтна литература (Извор: аутор)

поглавље 2

Табела 2.1: Карактеристике постојећих студија ублажавања урбаног топлотног острва и смањења концентрације CO₂ применом вегетационих кровова, главни резултати и референтна литература (Извор: аутор)

поглавље 5

Табела 5.1: Иницијални параметри моделирања ENVI-met-ом (Извор: аутор)

Табела 5.2: Карактеристике елемената модела (Извор: аутор)

поглавље 6

Табела 6.1: Поређење максималних разлика у температури ΔT (°C) за ниво пешака и ниво кровних равни за 4 модела утицаја вегетационих кровова (RC+EX, RC+IN, F, F+) у односу на модел постојећег стања (RC) на 4 локације (BGD01, BGD02, BGD03, BGD04) у Београду за 23.06. у 07:00, 13:00, 19:00 сати и 24.06. у 1:00 сат (Извор: аутор)

Табела 6.2: Вредности температуре ваздуха у °C за ниво пешака (1.5 m) за контролне тачке R1, R2 и R3, и просечне вредности, за модел постојећег стања (Realcity) и 4 модела утицаја вегетационих кровова (RC+EX, RC+IN, F, F+) на локацији BGD01 у Београду за 23.06. у 7:00, 13:00 и 19:00 сати и 24.06. у 01:00 сат (Извор: аутор)

Табела 6.3: Вредности температуре ваздуха у °C за ниво пешака (1.5 m) за контролне тачке R1, R2 и R3, и просечне вредности, за модел постојећег стања (Realcity) и 4 модела утицаја вегетационих кровова (RC+EX, RC+IN, F, F+) на локацији BGD02 у Београду за 23.06. у 7:00, 13:00 и 19:00 сати и 24.06. у 01:00 сат (Извор: аутор)

Табела 6.4: Вредности температуре ваздуха у °C за ниво пешака (1.5 m) за контролне тачке R1, R2 и R3, и просечне вредности, за модел постојећег стања (Realcity) и 4 модела утицаја вегетационих кровова (RC+EX, RC+IN, F, F+) на локацији BGD03 у Београду за 23.06. у 7:00, 13:00 и 19:00 сати и 24.06. у 01:00 сат (Извор: аутор)

Табела 6.5: Вредности температуре ваздуха у °C за ниво пешака (1.5 m) за контролне тачке R1, R2 и R3, и просечне вредности, за модел постојећег стања (Realcity) и 4 модела утицаја вегетационих кровова (RC+EX, RC+IN, F, F+) на локацији BGD04 у Београду за 23.06. у 7:00, 13:00 и 19:00 сати и 24.06. у 01:00 сат (Извор: аутор)

Табела 6.6: Преглед просечних разлика у температури ΔT (°C) за ниво пешака за 4 модела утицаја вегетационих кровова (RC+EX, RC+IN, F, F+) у поређењу са моделом постојећег стања (RC) на 4 локације (BGD01, BGD02, BGD03, BGD04) у Београду за 23.06. у 07:00, 13:00, 19:00 сати и 24.06. у 1:00 сат (Извор: аутор)

Табела 6.7: Минимална и максимална концентрација CO₂ (ppm) за модел постојећег стања (Realcity) и моделе утицаја вегетационих кровова (Realcity+EX и Realcity+IN) на нивоу пешака (1.5 m), 7.5 m и 17.5 m висине, 23.06. у 07:00 сати (Извор: аутор)

- Табела 6.8:** Минимална и максимална концентрација CO₂ (ppm) за модел постојећег стања (Realcity) и моделе утицаја вегетационих кровова (Realcity+EX и Realcity+IN) на нивоу пешака (1.5 m), 7.5 m и 17.5 m висине, 23.06. у 13:00 сати (Извор: аутор)
- Табела 6.9:** Минимална и максимална концентрација CO₂ (ppm) за модел постојећег стања (Realcity) и моделе утицаја вегетационих кровова (Realcity+EX и Realcity+IN) на нивоу пешака (1.5 m), 7.5 m и 17.5 m висине, 23.06. у 19:00 сати (Извор: аутор)
- Табела 6.10:** Минимална и максимална концентрација CO₂ (ppm) за модел постојећег стања (Realcity) и моделе утицаја вегетационих кровова (Realcity+EX и Realcity+IN) на нивоу пешака (1.5 m), 7.5 m и 17.5 m висине, 24.06. у 01:00 сат (Извор: аутор)
- Табела 6.11:** Прегледна компарација максималних разлика у концентрацији CO₂ (ppm) на нивоу пешака (1.5 m), 7.5 m и 17.5 m висине за моделе утицаја вегетационих кровова (Realcity+EX и Realcity+IN) у односу на модел постојећег стања (Realcity), на локацији BGD03 у Београду, за 23.06. у 7:00, 13:00, 19:00 и 24.06. у 01:00 (Извор: аутор)

1. УВОД

1.1 Општи увод

У циљу ублажавања глобалних климатских промена, широм света раде се истраживања која укључују енергетску ефикасност, заштиту животне средине, рационалну потрошњу енергије, одрживи развој и траже се одговори на свим нивоима.

Сектор зградарства троши 40% од укупне енергије у Европској Унији [4]. У Републици Србији ситуација је слична [5], а од поменуте енергије у Србији се око 70% троши у стамбеном сектору, углавном за грејање, климатизацију и вентилацију објеката. Стамбени објекти у Србији углавном су изузетно слабих енергетских перформанси, посебно објекти колективне изградње грађени у периоду од 1960. до 1990. године, од када датира и највећи део постојећег грађевинског фонда [6]. Стога су значајне активности и истраживања усмерени ка енергетској реконструкцији постојећих зграда, с обзиром да у постојећим објектима лежи значајан потенцијал за унапређење утицаја на животну средину (смањење емисије CO₂ и снижење температуре спољне средине) и смањење утрошка енергије у експлоатацији објеката. Смањење утрошка енергије значајно је и због нижих експлоатационих трошкова.

У Србији је неопходно спроводити истраживања чији ће резултат бити побољшање утицаја на животну средину и енергетско унапређење постојећег грађевинског фонда. Енергетском санацијом постојећих објеката у урбаним срединама могуће је смањити негативан утицај на животну средину, остварити енергетске уштеде и побољшати комфор становника. Тиме се доприноси остварењу постављених циљева у 2020. и 2050. години, на које су се обавезале не само чланице Европске Уније, него и чланице Енергетске заједнице, међу којима је и Република Србија.

Досадашња истраживања модела енергетске реконструкције стамбених зграда на подручју Републике Србије у циљу утицаја на животну средину и побољшања енергетске ефикасности нису укључивала вегетационе (зелене) кровове. Предлози мера и потенцијалних модела енергетске оптимизације базирали су се на појединачним објектима. Није испитиван утицај инсталације

система зелених кровова на побољшање микроклиматских параметара на нивоу градских стамбених целина.

Вегетациони или **зелени** кровови су кровови који имају вегетацију у завршном слоју. Деле се на „екстензивне“ и „интензивне“ [7], у зависности од дебљине супстрата (садног слоја), врсте вегетације, комплексности система наводњавања, могућности приступа и одржавања.

Зелени кровови доприносе смањењу потрошње енергије у објектима, редукују емисију CO₂, снижавају температуру спољне средине и ублажавају ефекат топлотног острва у урбаним срединама. Продужавају животни век кровних мембрана, доприносе ефикасном управљању атмосферским водама. Такође, зелени кровови доприносе повећању биолошке разноврсности (биљних врста, птица, инсеката), смањењу буке, повећању корисног отвореног простора, апсорпцији штетних утицаја загађујућих гасова [8]. Поред свега наведеног пружају могућност развоја урбане агрикултуре, имају позитивне ефекте на здравље корисника простора и грађана и улепшавају градове. Такође, повећавају вредност објеката и њихову цену на тржишту. Детаљан преглед главних доприноса вегетационих кровова приказан је у радовима [9][10].

Применом вегетационих кровова може се унапредити енергетска ефикасност постојећих објеката и побољшати утицај на животну средину смањивањем емисије CO₂. Употреба вегетационих кровова један је од начина побољшања и подизања капацитета резилијентности градова на климатске промене. Предмет је научних истраживања у различитим климатским условима.

Од укупног грађевинског фонда у Београду око 40% има равне кровове, док се бројке по општинама разликују и износе: Нови Београд 70%, Земун 50%, Савски Венац, Стари Град и Врачар 40%. Стога је потенцијал постојећег грађевинског фонда код ког је могуће унапређење енергетских својстава имплементацијом зелених кровова на постојеће равне кровове у Београду значајан¹.

¹ ЈП “Градско стамбено”, подаци добијени 8. јуна 2017. године. ЈП “Градско стамбено” је јавно предузеће које одржава 15000 стамбених зграда на територији централних градских општина Београда, што представља око 70 % укупног стамбеног грађевинског фонда.

1.1.1 Зелени кровови – подела, структура, карактеристике, употреба

Вегетациони или зелени кровови, као што је већ речено у уводном делу, деле се на „екстензивне“ и „интензивне“. У литератури се називају и „крвни вртови“ или „крвне баште“, а последњих година у чешћој је употреби термин „вегетациони“ од „зелених“, с обзиром да вегетација није увек зелене боје (неке врсте sedum-а, најчешће употребљаваног засада код екстензивних зелених кровова, мењају боје кроз годишња доба, од жуто-зелене, преко карактеристичне трава зелене до свих нијанси црвене). Поједини аутори називају их и „живи кровови“ (*living roofs*) и „еко кровови“ (*eco roofs*). У овом раду термини *вегетациони* и *зелени* су равноправно коришћени.

Изглед екстензивног и интензивног зеленог крова приказан је на сликама 1.1 и 1.2.



Слика 1.1: Екстензивни зелени кров²

² Екстензивни зелени кров конгресног центра Jacob K. Javits Convention Center of New York. Површина под вегетацијом износи око 27.300 m² и то је други по величини зелени кров у САД. Направљен је 2013. године, након обимне реконструкције 27 година старог енергетски неефикасног објекта.



Слика 1.2: Интензивни зелени кров³

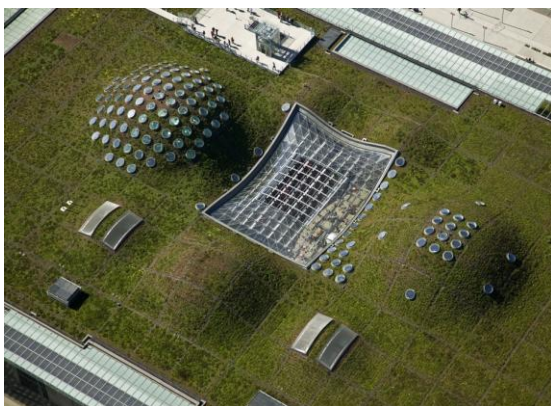
Класификација зелених кровова, са прегледом основних карактеристика и позивом на референтну литературу дата је у табели 1.1.

Табела 1.1: Класификација зелених кровова, главне карактеристике и референтна литература

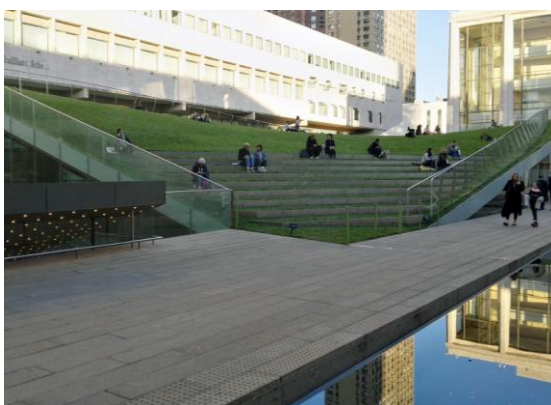
| Карактеристике | Екстензивни | Интензивни | Извор |
|----------------------|--|--|------------------|
| Дебљина садног слоја | испод 200 mm (60-200 mm) | изнад 200 mm (200-600 mm, код подземних гаража ≥ 1000 mm) | [11][12][10] |
| Доступност | неприступачни (осетљиво корење) или приступачни само по задатим путањама | приступачни (за потребе рекреације, одмора, забаве) | [11][13][14][10] |
| Тежина | 60-150 kg/m ² | изнад 300 kg/m ² (могу захтевати ојачање носеће конструкције код постојећих објеката) | [11][13][10][14] |
| Тип вегетације | ниска вегетација (трава, седум, зачинско биље, маховина) | висока вегетација (дрвеће, жбуње, цветнице), травњаци и ниска вегетација | [15][11][13] |
| Изградња | релативно једноставна | технички захтевна | [14][10] |
| Иригација | није потребна | потребан систем дренаже и наводњавања | [16][14][12] |
| Одржавање | једноставно | комплексно | [16][10][12] |
| Цена | ниска | висока | [17][18][14][19] |

³ Интензивни зелени кров, Ginza six шопинг центар, Токио, Јапан

Екстензивни зелени кровови лакши су од интензивних и погоднији су за веће површине кровних равни, њихова је монтажа технички једноставна и могуће их је постављати на крововима у нагибу [20], што је приказано на сликама 1.3 до 1.6. Претходних деценија лимит је био 15 степени, док се развојем технологије екстензивни вегетациони кровови данас раде и до нагиба од 45 степени (слика 1.4), у неким случајевима и више.



Слике 1.3 и 1.4: The California Academy of Sciences, Сан Франциско, САД (целина и детаљ). Део екстензивног крова истраживачког института и природњачког музеја постављен је на нагибу од 30 степени.⁴



Слика 1.5 (лево): Екстензивни вегетациони кров у нагибу, делимично доступан за коришћење. The Nuyor Pavilion⁵, Њујорк, САД

Слика 1.6 (десно): Заталасани екстензивни зелени кров у нагибу од 8 до 52 степена⁶, SSE HYDRO мултифункционална арена, Глазгов, Шкотска

⁴ Нова карика у зеленом зеленом коридору Сан Франциска је екстензивни зелени кров нове Академије (The California Academy of Sciences), на ком је засађено девет аутохтоних врста које не захтевају вештачко наводњавање. Површина засада је око 4000 m². Око 1.7 милиона биљака чини зелени кров.

⁵ Nuyor Pavilion изграђен је 2010. године. Површина екстензивног зеленог крова износи 920 m². Објекат се налази у густо изграђеном подручју централне зоне Њујорка, на тргу испред Julliard University Center-а.

На сликама 1.7 до 1.10 приказана је разлика у доступности екстензивних и интензивних зелених кровова – на примерима зеленог крова основне школе у Великој Британији (недоступан екстензивни зелени кров), Javits центра у Њујорку (кретање посетилаца ограничено искључиво на задате путање) и интензивних зелених кровова породичне куће у Лондону и конгресног центра у Балтимору (слободно коришћење површина кровног врта).



Слика 1.7 (лево): Неприступачни екстензивни зелени кров на Kinnard Primary School (Лаерберт, Велика Британија)



Слика 1.8 (десно): Екстензивни зелени кров доступан само по задатим трајекторијама, Jacob K. Javits Convention Center of New York, Њујорк, САД



Слика 1.9 (лево): Интензивни кровни врт породичне куће, Лондон, Велика Британија

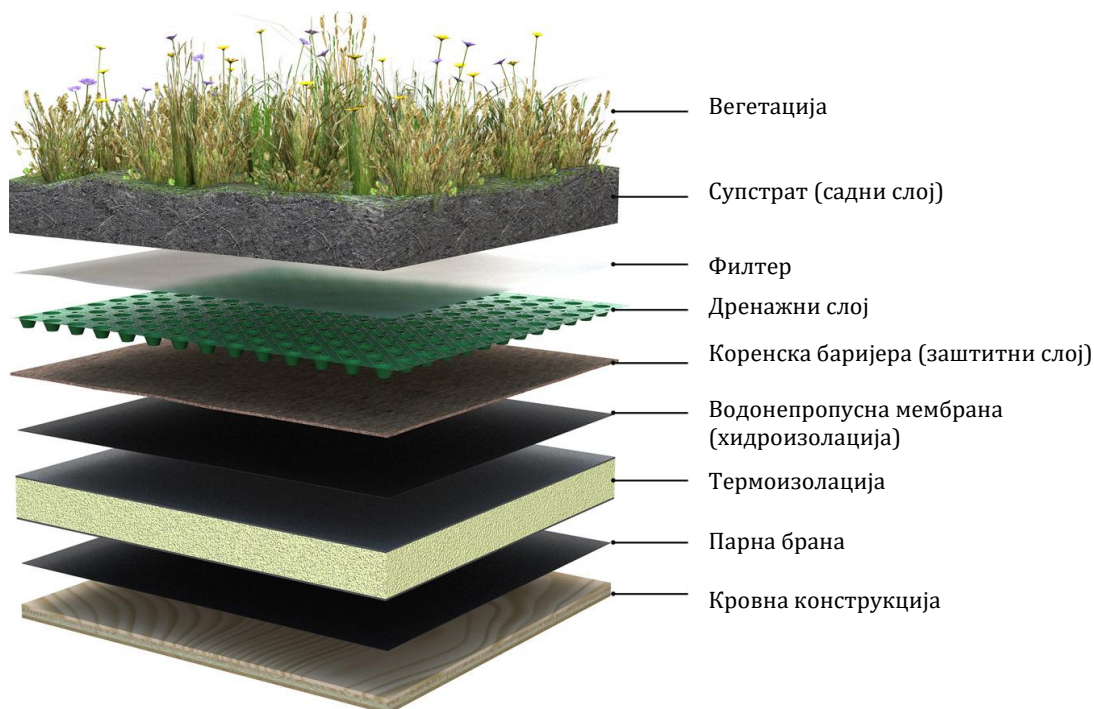


Слика 1.10 (десно): Интензивни вегетациони кров, Baltimore Convention Center, Балтимор, САД

⁶ Foster and Partners пројектовали су објекат шкотске националне арене SSE HYDRO који је изведен 2013. године. Зелени кров новог лендмарка Глазгова чини 37.000 биљака, засађених на 1020 m³ супстрата.

Компоненте (структура) зелених кровова

Структуру типичних зелених кровова чине следеће компоненте [20] (почевши од завршног слоја према кровној конструкцији): вегетација, супстрат (слој тла, садни слој, растући медиј или подлога), филтер, дренажни слој, коренска баријера (заштитни слој), водонепропусна мембрана (хидроизолација), термоизолација, парна брана и кровна конструкција (слика 1.11).



Слика 1.11: Шематски приказ компоненти зеленог крова

Структура зависи од локације и захтева, типа зеленог крова, те тако нису сви лејери обавезни. Према [18] обавезна структура зеленог крова обухвата слој вегетације, супстрата, дренажни слој и слој мембране, који служи као филтер и водонепропусни слој. Често се траже и други слојеви, као што су термоизолација, коренска баријера, систем за наводњавање (унутар или изнад слоја тла) и додатни филтери.

Вегетација – Вегетација чини завршни слој зелених кровова, као што је у уводу већ речено. У зависности од врсте зеленог крова (да ли је екстензивни или интензивни, доступан или недоступан, у нагибу или не, какве су могућности одржавања, каква је носивост кровне конструкције, да ли се ради о

новопланираном или постојећем објекту, која је површина зеленог крова, и друго) врши се одабир биљног материјала. Увек је пожељно садити домаће врсте за зелене кровове [21]. Домаће врсте већ су прилагођене локалним временским условима, специфичном климатском региону, њихове карактеристике и особености су познате, отпорне су на локалне штеточине итд.

Коришћењем локалне вегетације и медија за раст, потреба за наводњавањем и трошковима одржавања може се смањити, што је последица прилагођености локалним климатским условима [22].

С обзиром на све набројано у опредељењу за тип вегетационог крова, као и чињеницу да је изградња и одржавање екстензивних кровова једноставнија и јефтинија, екстензивни зелени кровови су чешће у употреби од интензивних.

Узимајући у обзир и чињеницу да је вегетација на врховима зграда изложена дејству ветра, ниска вегетација екстензивних вегетационих кровова је погоднија. Такође, боље покрива површину крова, има способност да издржи услове суше, захтева минимално одржавање, опстаје и са минималним условима хранљивих материја, брзо се размножава, има кратко и меко корење, а комбинујући више врста биљака подиже се њихова атрактивност [20].

Вегетација се може садити директно на крову, а може се полагати претходно узгојена вегетација у модуларном систему или систему тепиха [10]. Индустрија производње префабрикованих слојева конструкције зелених кровова са вегетацијом у завршном слоју је у експанзији у свету.

Супстрат / садни слој – Садни слој директно утиче на раст биљака и перформансе зелених кровова, стога је одабир одговарајуће подлоге важан за успех инсталације вегетационих кровова. Од свих компоненти зеленог крова, супстрат представља највеће оптерећење на кровну конструкцију. Када се ради о постојећим зградама, већина има ограничење оптерећења, што изискује посебну пажњу у одабиру врсте супстрата. Одабир је препоручљиво свести на што нижу тежину садног слоја, а једно од главних решења за снижење тежине је коришћење неорганских рециклираних материјала ниске густине.

Генерално, комерцијалне подлоге развијене су коришћењем материјала који су локално доступни и одговарају планираној врсти вегетације, климатским условима и очекиваном нивоу одржавања. Увек је препоручљиво пројектовати подлогу зеленог крова од локалних отпадних материјала, што појефтињује њихову уградњу [23]. У земљама у којима зелени кровови нису у општој употреби и комерцијални производи нису доступни, користе се материјали за баште. У општој пракси уобичајено је мешање више врста садног материјала.

Филтер – Главна функција слоја филтера је да се слој супстрата одвоји од дренажног слоја и на тај начин спрече честице земље и биљака од продирања, чиме се предупредује зачепљење дренажног слоја испод филтера. Геотекстилне тканине уобичајени су материјал који се користи за зелене кровове [24][25]. Филтер мора имати одговарајуће карактеристике носивости и чврстоће како би издржао терет горњих слојева, али такође и да буде перфориран рупицама малих димензија које дозвољавају пролаз воде према дренажном слоју. Филтер тканина делује и као коренска баријера за биљке са меким и танким корењем.

Дренажни слој – Дренажни слој је неопходан и важан за успех вегетационог крова. Обезбеђује оптималну равнотежу између ваздуха и воде у систему зеленог крова, односно обезбеђује уклањање вишка воде из супстрата како би се осигурало стање аеробног супстрата које погодује вегетацији. Дренажни слој такође штити водонепропусну мембрану и побољшава термичка својства зеленог крова [24].

Избор погодног дренажног слоја зависи од трошкова, захтева за изградњу, врсте вегетације и величине зеленог крова. Уопштено, за мале објекте као што су резиденцијалне зграде, грануларни материјали испуњавају захтеве. Међутим, недостатак грануларних материјала је то што се могу применити само на равним крововима или крововима под углом до око 5°, а постоје и ограничења у самој инсталацији слоја. С друге стране, дренажни модули имају способност складиштења веће количине воде у својој структури, погодни су за велике површине и могу се постављати и на нагнутим конструкцијама. Трошкови представљају главно ограничење у опредељењу за ову врсту дренажног слоја. Међутим, једноставна инсталација и могућност лаког приступа

током поправки, фаворизују модуларне дренажне елементе код модерних зелених кровова.

Коренска баријера / заштитни слој – Флексибилан, отпоран на продор и ударце, овај слој задржава корење и штити структуру крова од корења биљака које може продрети из горњих слојева. Коренска баријера обавезна је за интензивне зелене кровове, док је код екстензивних опциона [26].

Водонепропусна мембрана / хидроизолација – Водонепропусни слој је основа за успех било ког зеленог крова. Овај слој је предуслов који је током инсталације зелених кровова неопходно обезбедити, како би се спречило цурење. У евалуацији успешности зелених кровова није изненађујуће претпоставити, са тачке гледишта крајњег корисника, да и најмање цурење означава неадекватну изведбу конструкције. Због влажног супстрата/садног слоја и дренажног слоја, садржај влаге у крову је увек висок. Такође, у случају цурења у зеленом крову, сви се слојеви морају уклонити како би се идентификовао узрок. Због тога се посебна пажња у инсталацији зелених кровова полаже на квалитет и начин монтаже водонепропусне мембране. Поливинилхлорид (ПВЦ), мембране које се изливају на лицу места, термопластичне и полимеризоване битуменске мембране су уобичајени материјали [24]. У многим случајевима реконструкције равних кровова у зелене овај слој већ постоји, а у зависности од квалитета и стања водонепропусности, може бити задржан или замењен.

Термоизолација – Термоизолациони слој је опциони. Код реконструкција постојећих равних кровова у зелене уобичајено је постављање слоја термоизолације, чиме се подижу термичке карактеристике целокупне конструкције.

Мултифункционално коришћење зелених кровова

Зелени кровови претварају неискоришћене површине крова у мултифункционалне просторе користећи вегетацију [27]. Тако се у урбаним срединама стварају нови озелењени простори доступни за различите намене који се користе за одмор, рекреацију, социјалне контакте или узгајање биљака (урбана агрокултура) [28]. Мултифункционалност коришћења илустрована је на сликама 1.12 до 1.15.



Слика 1.12 (лево): Урбана агрокултура, зелени кров Универзитета Ryerson, Торонто, Канада



Слика 1.13 (десно): Екстензивни зелени кров у активном коришћењу, Универзитетска библиотека, Делфт, Холандија (површина зеленог крова 1500 m², нагиб 15%)



Слика 1.14 (лево): Слободно време и одмор, социјална компонента коришћења вегетационих кровова



Слика 1.15 (десно): Мултифункционално коришћење зеленог крова – едукација деце – интензивни кровни врт The Brooklyn Children's Museum Њујорк, САД

Систем зелених кровова, који се истражује овим радом, креира се и као компонента система зелених површина, односно зелене инфраструктуре у граду, као што је већ раније у тексту наведено. Зелени кровови не морају се ограничити само на кровове зграда већ могу бити и иновативни приступ у начину коришћења и пренамени постојеће запуштене урбане инфраструктуре, чиме се доприноси побољшању микроклиматских ефеката у урбаним срединама. Један од најпознатијих примера таквог приступа је High Line Park у Њујорку (слика 1.16). Недостатак јавних зелених површина може се надоместити озелењавањем равних кровова јавних објеката мале висине (гаража и сл.) и стварањем паркова (слика 1.17) повезаних у систем зелених коридора града.



Слика 1.16 (лево): High Line Park, Њујорк, САД, интензивни вегетациони кров⁷

Слика 1.17 (десно): Liberty Park NY, Њујорк, САД, интензивни зелени кров⁸

⁷ High line Park, New York. Стара железничка пруга из 50-тих година 19. века у индустријском дистрику Њујорка претворена је 2009. године у интензивни зелени кров дуг 2.33 km. Линејски, уздигнути (ниво првог спрата) интензивни кровни врт, повезује неколико густо изграђених блокова зеленом „линијом“, доприносећи одрживости суседства на еколошком, социјалном, економском и урбанистичком нивоу.

⁸ Liberty Park NY, САД – Интензивни зелени кров на непројектованом објекту јавне гараже у склопу меморијалног центра National September 11 Memorial & Museum у Њујорку. Кров са интензивним зеленилом се користи као јавни парк.

1.1.2 Појмови и дефиниције везани за вегетационе кровове

Како би се стекла генерална слика опште улоге и важности успостављања система зелених кровова, у овом делу објашњени су неки од појмова које је битно разумети – *урбано топлотно острво* и *зелена инфраструктура*.

Урбано топлотно острво

Урбано топлотно острво (urban heat island) је феномен који се односи на појаву да је урбано окружење топлије од околних руралних подручја [29]. Појава урбаног топлотног острва описана је још 1969. године [30].

Урбано топлотно острво један је од фактора који доприноси да температура ваздуха топлог летњег поподнева у граду може бити виша 1-3 °C од температуре у окружењу [31], а у ведрим летњим ноћима без ветра температурна разлика може бити и до 8°C [32]. Урбано топлотно острво узроковано је мањком вегетације, великим рефлектујућим површинама које чине урбане целине и модификованим правцима струјања ваздуха у изграђеном окружењу [33][34][35].

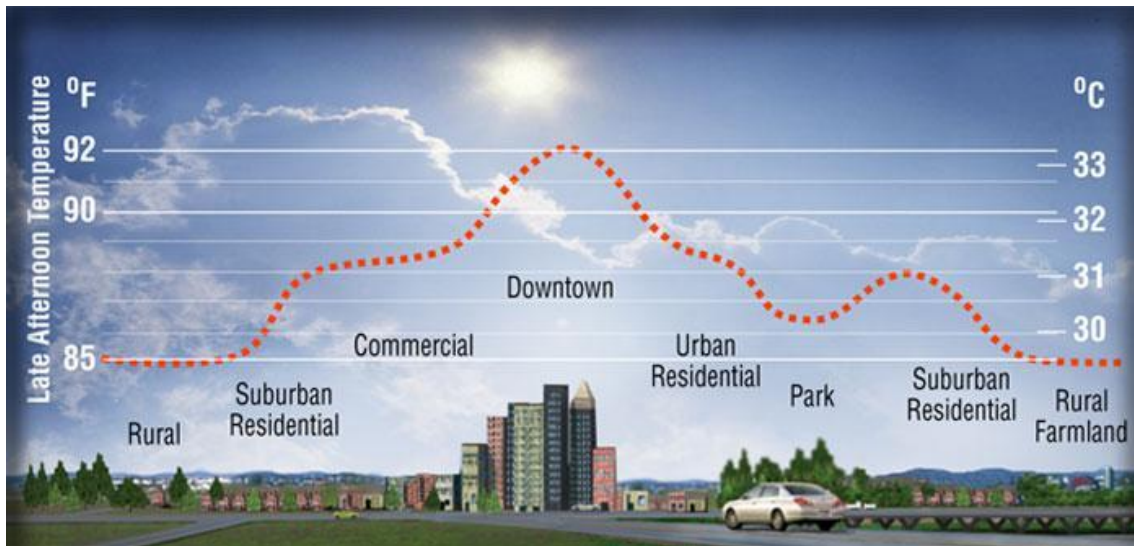
Савремени градови шире се урбанизацијом. Велики проценат становништва сели се у градове, и очекује се да ће проценат тоталне популације у европским градовима порасти са 73 % у 2014. години на 84% у 2050. години [36]. Овај тренд урбанизације и урбаног погушћавања одговоран је за климатске услове јер се мењају структура и текстура лендскејпа, чиме се мења енергетски баланс у урбаним зонама које постају топлије од околних руралних зона, те се јавља урбано топлотно острво.

Као што је приказано на слици 1.18, профил урбаног топлотног острва карактерише топлотни центар, подручје највише температурне разлике између урбане и руралне области. Овај центар окружен је платоом повишене температуре, а затим температурна линија опада и углавном прати градски периметар [33].

Урбани раст, посебно у развијеним земљама, резултирао је различитим негативним утицајима на животну средину, као што су убрзано повећање загађења ваздуха и ефекат урбаног топлотног острва [9]. Зелени кровови могу

допринети ублажавању ових проблема на градском нивоу, односно нивоу суседства (*city-scale, neighborhood scale*) [37]. Један од бенефита увођења вегетационих кровова у урбане средине је могућност ублажавања ефекта урбаних топлотних острва [38][39].

Улога зелених кровова у ублажавању ефекта урбаног топлотног острва, описана је у наредном потпоглављу.



Слика 1.18: Типични профил урбаног топлотног острва

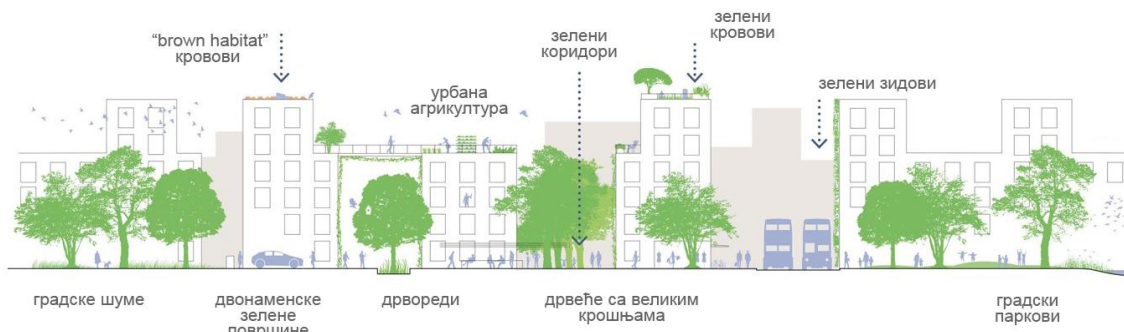
Зелена инфраструктура

Зелени кровови су део зелене инфраструктуре у урбаним срединама. Према [40] зелена инфраструктура се односи на стратешки планирану и управљану мрежу зелених површина и других еколошких компоненти и технологија неопходних за одрживост било које урбане зоне. Зелена инфраструктура користи вегетацију, земљане површине и природне процесе за управљање температуром и квалитетом ваздуха ради стварања резистентније, здравије и лепше урбане средине. Планирана зелена инфраструктура у урбаним срединама је успешно тестиран алат за обезбеђивање микроклиматских, еколошких, економских и социјалних бенефита [41].

Користећи нове и савремене технологије зелена инфраструктура може се успешно увести у већ изграђена урбана окружења и урбане структуре. Слика 1.19 приказује компоненте зелене инфраструктуре у градовима.

Зелени кровови као део зелене инфраструктуре постали су стандардни део решења планирања градова, одрживог територијалног развоја и борбе против климатских промена. Преглед бенефита увођења зелене инфраструктуре у урбана подручја приказује [38].

Преглед научних радова везаних за зелене кровове као део система зелене инфраструктуре и стратешког приступа за побољшање микроклиматских параметара у градовима, описан је у наредном потпоглављу.



Слика 1.19: Елементи зелене инфраструктуре у урбаним срединама

1.1.3 Улога вегетационих кровова у побољшању микроклиматских параметара

Урбано топлотно острво у градовима повећава потрошњу енергије за хлађење објеката и максималну потражњу за електричном енергијом у летњем периоду, повећава емисију CO₂ у атмосферу, негативно утиче на спољни и унутрашњи термални комфор током топлих периода, утиче на здравље становника и повећава морталитет [42].

Као што је већ раније наведено, вегетациони кровови могу се посматрати као практичан алат за ублажавање ефекта урбаних топлотних острва односно снижења температуре ваздуха у урбаним подручјима.

Улога зелених кровова у ублажавању ефекта урбаног топлотног острва истраживана је и детаљно приказана у [42][43][44][45][46][47][48][49][50][51][52]. Урбаном топлотном острву у највећој мери доприносе велике асфалтиране и бетониране површине ниских вредности албеда, умањен проценат вегетације у урбаним срединама, високе зграде и уске улице које модификују правац и брзину ветра и стварају „урбане кањоне“ (*urban canions*), груписани процеси и активности у урбаним срединама који генеришу топлоту (КГХ системи, транспорт и други антропогени процеси и фактори). Зелени кровови повећавају алbedo урбаних подручја и сматрају се важним елементом и приступом у ублажавању урбаних топлотних острва. Применом система вегетационих кровова може се редуковати температура амбијента између 0,3 и 3 °C на нивоу града и ефикасно редуковати ефекат урбаног топлотног острва [42].

Вегетациони кровови су алат у борби за умањење ефекта урбаних топлотних острва и повећавају алbedo урбаних подручја [9][53]. Berardi et al. [10] указују да се алbedo вегетационих кровова креће од 0.7 до 0.85, што је много више од албеда (0.1–0.2) битумена, катрана и шљунка, материјала завршног слоја класичних равних кровова.

Алbedo урбаних подручја може се повећати и употребом хладних материјала у материјализацији завршног слоја, чиме се редукује температура амбијента до 1 °C [54]. Материјали завршних слојева саобраћајница, тротоара и других слободних простора играју веома значајну улогу у укупном топлотном

балансу у урбаним срединама и утичу на развој урбаних топлотних острва [55]. Снижење површинских температура слободних градских простора чије завршне слојеве углавном чине асфалт и бетон може значајно да допринесе побољшању термичких услова у градовима. Ово се може постићи заменом конвенционалних материјала новим материјалима, који у току топлих периода имају смањену апсорпцију сунчевог зрачења [56][54]. Овакви, „хладни“, материјали развијени су и доступни за употребу у урбаним срединама. Коришћење напредних хладних материјала у изграђеном урбаном окружењу како би се ублажио ефекат урбаног топлотног острва и побољшали услови топлотног комфора је приступ чији су ефекти потврђени бројним експериментима, а комплетан *state of the art* преглед научне литературе даје [55].

Коришћење зелених кровова једна је од стратегија адаптације градова на климатске промене, како је описано у [43][57][58]. Вегетациони кровови део су система зелене инфраструктуре у градовима. Зелена инфраструктура као стратешки приступ и део решења смањења загревања и загађења урбаних средина је проучавана у [44][58][59][43][48]. С обзиром на природни ефекат хлађења кроз процес евапотранспирације закључује се да зелену инфраструктуру треба уводити у урбано окружење стратешки и користити је како у урбаном тако и архитектонском дизајну. Зелена инфраструктура ефектан је алат у борби против климатских промена закључују [57][10][45].

Применом вегетационих кровова долази до смањења емисије штетних гасова [39][60][8][61][62]. Идентификовано је да је употреба вегетационих кровова еколошки приступ и техника за умањење загађења ваздуха, што је производ директних (директно се везују загађивачи спољне средине) и индиректних процеса (модификовањем микроклиме употребом вегетационих кровова смањује се количина енергије која се користи за КГХ и тиме количина полутаната који се емитују). Перформансе зеленог крова повезане су са стањем вегетације, положајем крова и климатским условима. Квантификовано је да 19.8 ha зелених кровова годишње уклони 1675 kg полутаната [8]. Један квадратни метар вегетационог крова може да елиминише годишњу емисију честица које производи један путнички аутомобил [60]. У сунчаном дану зелени кров могао би смањити концентрацију CO₂ у урбаном суседству за 2% [39]. С обзиром да у

густо изграђеним урбаним срединама постоји мањак површина које је могуће озеленити, инсталацијом вегетационих кровова повећава се проценат под вегетацијом. С обзиром да се на интензивним зеленим крововима може садити дрвеће и жбуње, они имају већи допринос у умањењу загађења ваздуха од екстензивних зелених кровова са травом и ниским растињем.

Зелени кровови снижавају концентрацију CO₂ у амбијенту у њиховој близини [39][63][64][65]. Поред директног упијања честица полутаната из ваздуха, они такође индиректно смањују емисију [66]. Зелени кровови индиректно смањују емисије CO₂ из електрана и пећи смањујући потребе за грејањем и хлађењем, што указује на дугорочне еколошке и економске предности зелених кровова [63].

Комплетан преглед који обухвата објављена истраживања о томе како зелени кровови могу помоћи ублажавању загађења дат је у раду [60].

Ефекти употребе зелених кровова на микроклиму градова и умањење енергетских потреба истраживани су за различита климатска подручја: Торонто [43][44], Чикаго [8], Портланд, Чикаго, Атланту, Хјустон [67], Њујорк [52], Лондон [68], Лисабон [69], Атину [70][71], холандске градове [72], градове у северној Шпанији [73], Рим [74], Палермо [75], Терамо (Abruzzo регион, Италија) [76], Катанију (Сицилија, Италија) [77], Хонг-Конг [78], Куала Лумпур, Сингапур и Хонг Конг [46], Кавасаки (Јапан) [61], Хангзоу (Кина) [79], Аделаиде (Аустралија) [48], Мелбурн (Аустралија) [49], Гуангзоу и Франкфурт [80] и друге. Различити су доприноси вегетационих кровова за различита климатска подручја. Истраживања показују да је највећи утицај зелених кровова у подручјима са топлим климом или топлим летима [10]. Зелени кровови су оцењени као ефикасна технологија у редукцији температуре у објектима као и у смањењу потрошње енергије у објектима, како за топле тако и за хладне климатске услове [81][18].

1.1.4 Потенцијал и улога постојећег грађевинског фонда

Како је већ наведено, сектор зградарства одговоран је за потрошњу 40% енергије, те су сваки напор и акција усмерени ка повећању енергетске ефикасности постојећих зграда од велике важности и значаја, с обзиром да у

постојећим објектима лежи велики потенцијал за унапређење квалитета животне средине, комфора становника и смањење утрошка енергије у експлоатацији објеката.

У Републици Србији током последње деценије донети су бројни прописи и обезбеђене мере за побољшање енергетске ефикасности у новим зградама. Међутим, један од највећих изазова представља фонд постојећих зграда код којих се као мера подизања енергетске ефикасности и умањења негативног утицаја на животну средину примењује енергетска реконструкција и ревитализација. Један од кључних аспеката унапређења је постављање вегетационих кровова на постојећим објектима са равним крововима, што је предмет овог истраживања.

Као једна од опција енергетске реконструкције постојећег грађевинског фонда у Србији предлаже се и формирање зелених кровова. Према [6] санација равног крова изнад грејаног простора сматра се значајном не само што она има изузетно велики утицај на термички комфор (и зими и лети) станова који се налазе непосредно испод равног крова, већ и због тога што су равни кровови у Србији на овим зградама махом у веома лошем стању⁹. Ђуковић Игњатовић додаје да би се постигле тражене термичке карактеристике равних кровова постојећих зграда, дефинисане Правилником о енергетској ефикасности зграда [82], потребна је знатно дебља термоизолација од најчешће употребљаване у Србији (5 cm), што значи подизање нивоа коте крова у просеку 15-20 cm у односу на постојеће стање. То значи да ће у склопу ове интервенције бити неопходно урадити и ново одводњавање, а код неких зграда и нови назидак, ограде и сл. Исти аутор додаје да би непроходни равни кровови могли да се конвертују у проходне или зелене кровове, односно да код интервенција могу бити додавани и нови садржаји.

На жалост, не постоје прописи, смернице, стандарди или кодови у погледу изградње/инсталације зелених кровова у Републици Србији и граду Београду,

⁹ Оштећена хидроизолација и прокишњавање, влажна и недовољна термоизолација типични су за равне кровове у Републици Србији, који деценијама нису ни прегледани а камоли правилно одржавани [6].

како код нових тако ни код објеката који се реконструишу. Поједине општине дају одређени проценат бесповратног учешћа у реновирању, стимулишући на тај начин власнике објеката да и сами инвестирају у обнову објеката. Такође, банке дају повољније кредите за пројекте реновирања и подизања енергетске ефикасности. Кредити се углавном користе за реновирање породичних стамбених објеката. У Европи ситуација је другачија. Поједине земље и градови донели су подзаконска акта и обавезујуће општинске уредбе којима се прописује обавеза употребе зелених кровова на појединим зградама, појединим зонама. Обезбеђује се и помоћ у финансирању изградње зелених кровова у разним фазама њихове изградње и животног века. Такође, постоје примери повећања укупне дозвољене квадратуре за изградњу, умањења пореза инвеститорима, умањења накнаде за доприносе за изградњу. Као резултат доношења уредби и прописа, али и финансијских подстицаја, инвестирање у изградњу вегетационих кровова заступљеније је у Француској, Аустрији, Норвешкој, Швајцарској, Великој Британији и Немачкој него у другим областима Европе код којих овакве иницијативе изостају. Политике држава и градова и законска легислатива везана за циљеве у реконструкцији постојећег грађевинског фонда мењају се и континуално унапређују. Промене и напретке у политикама реновирања у Француској, Немачкој, Данској и Шведској приказују [83].

Истраживања реконструкције и ревитализације постојећих објеката имплементацијом зелених кровова дата су у [73][75][84][18].

Досадашња истраживања потенцијалних модела енергетске реконструкције и оптимизације мера обнове стамбених зграда на подручју Београда и Републике Србије у циљу побољшања енергетске ефикасности и утицаја на животну средину односила су се на критичку анализу кључних елемената термичког омотача и предлога мера и потенцијалних модела енергетске оптимизације [6][85][86] без фокуса на утицај употребе система вегетационих кровова. Истраживања су се базирала на појединачне објекте [87][88]. Није истраживан утицај инсталације система зелених кровова на побољшање микроклиматских услова на нивоу суседства и урбаних целина, што је разлог да ова тема буде изабрана за предмет истраживања у оквиру ове дисертације.

1.1.5 Претходна анализа општих информација о предмету истраживања

Политике градова и држава и резултати спровођења политика

Већина истраживања везаних за зелене кровове, као и установљавање и спровођење политика везаних за имплементацију зелених кровова, везана су пре свега за поједине Европске земље, као и Северну Америку, али последњих година и државе Азијског континента.

Зелени кровови у употреби су у Немачкој још од осамдесетих година 20. века и њихова примена од тада непрекидно расте (слика 1.20). Зелени кровови покривали су 1989. године 1 милион квадратних метара кровова у Немачкој, да би непуних 10 година касније, 1996. године, вегетациони кровови покривали преко 10 милиона квадратних метара кровних површина. Главни разлог тако великог раста су општински грантови и државно законодавство којима су обезбеђена средства за инвестиције у изградњу зелених кровова [89].



Слика 1.20: Систем екстензивних зелених кровова на стамбеним објектима, Хамбург, Немачка

Након Немачке и друге Европске земље и поједини градови донели су како обавезујуће општинске уредбе тако и подзаконска акта којима се прописује обавеза употребе зелених кровова на појединим зградама, појединим зонама,

али обезбеђује и помоћ у финансирању изградње зелених кровова у разним фазама њихове изградње и животног века.

Као резултат доношења уредби и прописа, али и финансијских подстицаја, инвестирање у изградњу вегетационих кровова заступљеније је у Француској, Аустрији, Норвешкој, Швајцарској, Великој Британији и Немачкој него у другим областима Европе код којих овакве иницијативе изостају.

Према студији објављеној 2015. године од стране EFB – European Federation of Green Roofs and Walls [90] у 2014. години укупне површине вегетационих кровова у неким од Европских земаља, изражено у милионима метара квадратних, су следеће: Аустрија 4.5 милиона, Немачка 86, Мађарска 1.25, Велика Британија 3.7. Према истом извору, посматрано према годишњим извештајима, трендови у свим земљама су узлазни, а само у 2014. години изграђено је нових површина зелених кровова, представљено у милионима метара квадратних: Аустрија 0.5 милиона, Немачка 8.0, Мађарска 0.1, Скандинавске земље (Шведска, Норвешка и Данска) 0.6, Швајцарска 1.8, Велика Британија 0.25.

У Француској је, након најаве 2015. године, фебруара 2017. године постојећи *Закон о изградњи ("Urban Development Code")* допуњен параграфима који обавезују инвеститоре да кровови на новим објектима у зонама комерцијалних делатности буду прекривени вегетацијом, имају уграђене системе за активну употребу обновљивих извора енергије (соларне или фотонапонске колекторе) или комбинују ова два принципа (*Eco-Solar Roof* или *BioSolar Roof*)¹⁰. Градске власти у Паризу поставиле су 2014. године амбициозан план успостављања нове зелене инфраструктуре до 2020. године који укључује циљ од 1 милион m² зелених кровова и зидова на територији Париза до 2020. године [91].

Грац, град који се прикључио другим аустријским градовима у промоцији зелене инфраструктуре, даје посебне погодности инвеститорима који оформе зелени кров минималне површине 1000 m² и 20 m ширине. Такође, постоји услов да дебљина супстрата буде минимално 10 cm и да покрива најмање 66 %

¹⁰ <https://livingroofs.org/new-french-law-green-solar-roofs/> (приступљено 04.04.2017.)

површине крова. Инвеститори општинским органима достављају листу са врстама засада, односно вегетације, како би се утврдило да ли вегетација одговара Austrian Green Roof Standard (ÖNORM L1131)¹¹. Сви елементи инсталације система такође морају проћи конфирмацију у складу са аустријским стандардом пре добијања овлашћења за коришћење финансијских повластица.¹²

Такође, широм планете, доносиоци одлука и извршна власт у појединим градовима сматрају да је допринос квалитету животне средине, уштеди енергије и естетици града употребом зелених кровова толики да дају посебне бенефите у виду умањења пореза инвеститорима, умањења накнаде за доприносе за изградњу, као и у виду повећања укупне дозвољене квадратуре за изградњу и давања других олакшица и подстицаја.

У Сједињеним Америчким Државама политике градова у сврху промоције изградње зелених кровова (*Green Roof Policy Initiatives*) су широко заступљене. Градови нуде разне бенефите и програме, од којих Green Roofs for Healthy Cities 2013. године посебно издваја следеће [92]:

- Chicago, IL: *“Green Roof Permit Program”*,
- Devens, MA: *“Vegetated (Green) Roof Construction Standard”*,
- Grand Rapids, MI: *“Greenspace Provision”*,
- Milwaukee, WI: *“Regional Green Roof Initiative”*,
- Minneapolis, MN: *“Stormwater Credit Program”*,
- Nashville, TN: *“Green Roof Credit”*,
- New York, NY: *“Green Roof Tax Abatement”*,
- Philadelphia, PA: *“Green Roof Tax Credit”*,
- Portland, OR: *“Floor Area Ratio (FAR) Bonus”*,
- Syracuse, NY: *“Green Improvement Fund”*,
- Toronto, ON: *“Green Roof Bylaw / Procurement”*,
- Seattle, WA: *“Green Factor Program”*,
- Washington, DC: *“Green Roof Rebate Program”*.

¹¹ <http://www.biotope-city.net/article/green-walls-city> (приступљено 04.06.2017.)

¹² <http://livingroofs.org/graz-green-infrastructure/> (приступљено 06.06.2017.)

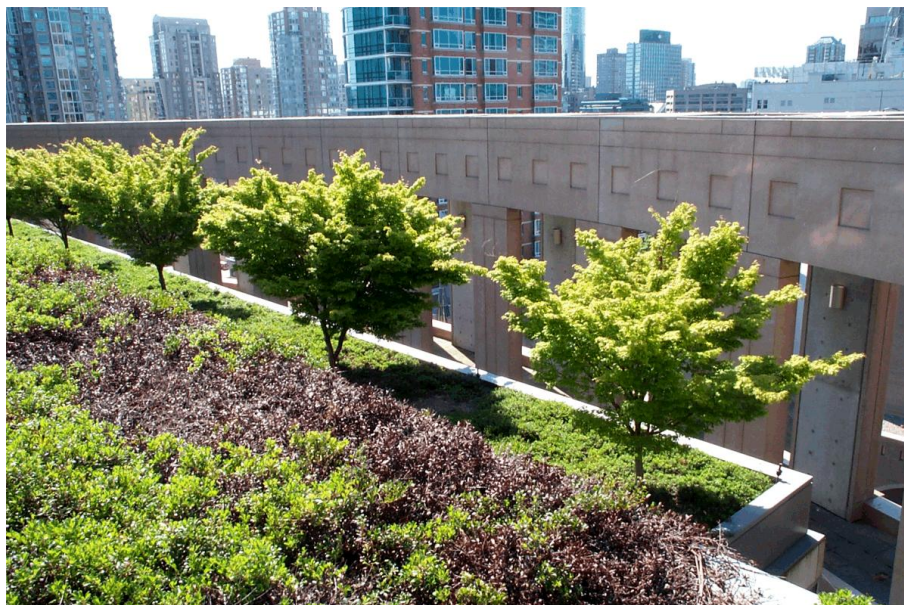
Бивши градоначелник Чикага, једног од градова са највећим бројем имплементираних зелених кровова у свету, Richard M. Daley рекао је *“Зелени кровови су атрактивна и штедљива алтернатива конвенционалним равним крововима. Кровни вртови држе зграде хладнијима, чувају енергију, продужавају корисни век кровног покривача, доприносе лепоти града и додају нове корисне површине корисницима”* [92], што је добар пример разумевања важности употребе зелених кровова од стране градских власти. На сликама 1.21 и 1.22 приказан је зелени кров Chicago City Hall-а.



Слика 1.21: Chicago City Hall, Dept of Environment, зелени кров на постојећем административном објекту, подигнут 2001. године, као део Green Roof Permit Program-а



Слика 1.22: Температурна разлика између интензивног зеленог крова и битуменског, класичног „црног“ крова. Фотографија и снимак термовизијском камером, из истог угла и у истим условима, приказују да је зелени кров Chicago City Hall-а скоро 40 °C (80 °F) хладнији од крова суседне зграде који у завршном слоју има битумен. Чикашка градска власт широко промовише употребу зелених кровова.



Слика 1.23: Vancouver Public Library, власник објекта The City of Vancouver, зелени кров на постојећем објекту подигнут 1995. године

Подстицаји, али и обавезе доводе до знатног пораста броја објеката са вегетационим крововима у САД. Према истраживањима Green Roofs for Healthy Cities за 2016. годину¹³, водећих 5 градова у САД су следећи, изражено у хиљадама квадратних метара: Washington (D.C.) 149, Chicago (IL) 54, New York (NY) 48, Philadelphia (PA) 43, Harrisburg (PA) 40.

Према последњим доступним подацима у Торонту је у периоду од фебруара 2010. до марта 2015. године изграђено 300 нових зелених кровова, укупне површине 250.000 m², те је укупан број објеката са вегетационим кровом порастао на 500.¹⁴

У Јужној Америци у порасту је свест о важности зелених кровова, где се могу издвојити Cordoba (Argentina)¹⁵ и Sao Paulo (Brazil)¹⁶.

¹³ <https://www.greenroofs.org/green-roof-industry-survey/> (приступљено 04.06.2017.)

¹⁴ <http://www1.toronto.ca> (приступљено 04.06.2017.)

¹⁵ <https://progrss.com/sustainability/20160718/argentinian-bylaw-requires-green-roofs-in-cordoba/> (приступљено 24.05.2018.)

Кина последњих година охрабрује инвеститоре у употреби зелених кровова, а пре свих градова политике промоције установљене су за Shanghai, Beijing, Guangzhou и Shenzhen [93]. Према истом извору пораст употребе вегетационих кровова у Кини драматично расте, о чему говоре чињенице да је до 2011. године у Beijing-у изграђено 1.5 милиона m² зелених кровова, до 2012. године у Шангају овај број достигао је 1.45 милиона m², а још 2009. године у Shenzhen-у, првом граду у Кини који је промовисао зелене кровове, било је 1 милион m² зелених кровова.

Институционални развој у промоцији зелених кровова

Како су се иницијативе а потом и изградња зелених кровова прошириле, широм света почеле су да се формирају организације, удружења, али и регулаторна тела која се баве зеленим крововима, као на пример: Green Roofs for Healthy Cities (Toronto, Canada)¹⁷, EFB – European Federation of Green Roofs and Walls (Evropska Unija)¹⁸, Canada Green Building Council (Kanada)¹⁹, US Green Building Council (USA)²⁰, UK Green Building Council (Velika Britanija)²¹, International Green Roof Association²² и други.

Базе објеката са зеленим крововима

Последње деценије установљене су и информационе базе, у којима се у реалном времену могу прегледати подаци о пројектима са зеленим крововима, детаљима пројеката и свеобухватна статистика. Сви подаци које ове базе нуде су јавно доступни. Могу се издвојити следеће базе:

- *“Green Roofs Tree of Knowledge” (TOK)*²³ је база у којој се могу наћи бројна документа, студије и прегледна статистика везана за инфраструктуру

¹⁶ <https://ecotelhado.com/quota-ambiental-nova-lei-de-sao-paulo-incentiva-desenvolvimento-urbano-sustentavel/> (приступљено 04.06.2017.)

¹⁷ <https://www.greenroofs.org/> (приступљено 29.05.2018.)

¹⁸ <http://efb-greenroof.eu/> (приступљено 28.05.2018.)

¹⁹ <http://www.cagbctoronto.org/> (приступљено 02.04.2018.)

²⁰ <http://www.usgbc.org/> (приступљено 30.05.2018.)

²¹ <http://www.ukgbc.org/> (приступљено 04.06.2017. године)

²² <http://www.igra-world.com/> (приступљено 04.06.2017. године)

²³ <http://greenroofs.org/grtok/> (приступљено 04.06.2017. године)

зелених кровова, са материјалима и легислативом доступним на енглеском језику,

- “*Living Architecture Monitor*”²⁴ је прегледна база са поделом на резиденцијалне, пословне, јавне објекте и друге, у оквиру које се издваја и секција кровова који су реконструисани из стандардних у зелене,
- “*The International Greenroof & Greenwall Projects Database*”²⁵ једна је од најсвеобухватнијих база објеката са у овом тренутку постављена 1709 објекта који покривају 3.380.109 m²,
- “*Green Roof Tracker*”²⁶ је база објеката са зеленим крововима у Сједињеним Америчким Државама.

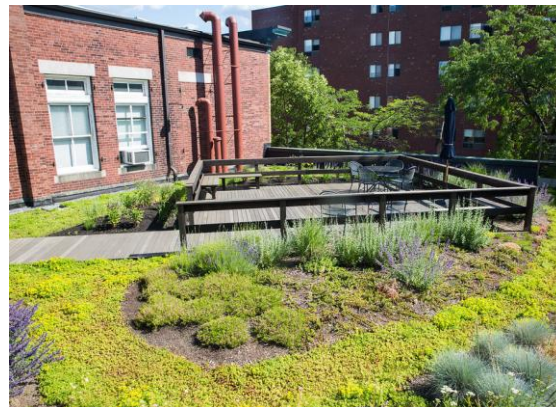
Актуелност употребе

Актуелност употребе зелених кровова, поред већ наведених показатеља, демонстрирају посвећене конференције, симпозијуми и размена најбољих достигнућа и решења широм света. Слика 1.24 приказује неке од награђених решења, наградом *Green Roofs for Excellence Award*, за последњих неколико година. Одабрани примери су и репрезенти зелених кровова на грађевинским објектима различитих намена – објектима становања, пословања/комерцијале и јавне намене/администрације.

(1)



(2)

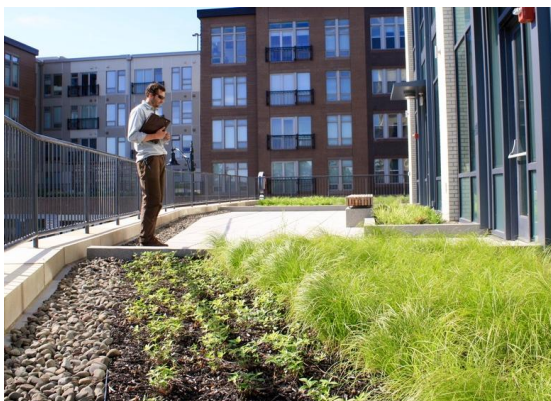


²⁴ <http://www.recovergreenroofs.com/> (приступљено 05.06.2017. године)

²⁵ <http://www.greenroofs.com/projects/plist.php> (приступљено 28.05.2018. године)

²⁶ <https://www.gsa.gov/portal/content/166443> (приступљено 04.06.2017. године)

(3)



(4)



(5)



(6)



Слика 1.24: Примери зелених кровова, одабрани према *Green Roofs for Excellence Awards*, на објектима различитих намена: стамбени објекти (1, 2), објекти пословања и комерцијале (3, 4), јавне институције (5, 6)

Република Србија и град Београд

У Републици Србији и граду Београду у овом тренутку не постоји законска обавеза имплементације вегетационих кровова, као ни законска обавеза постављања система за експлоатацију обновљивих извора енергије на равним крововима. Такође, не постоје базе података и информација, као ни студијска нити научна истраживања везана за микроклиматске бенефите употребе система зелених кровова. Стога је неопходно радити истраживања утицаја зелених кровова чији је један од излаза стварање могућности за имплементацију обавеза и бенефиција њихове употребе у законску регулативу.

2. ПРЕГЛЕД И АНАЛИЗА ЛИТЕРАТУРЕ

У овом поглављу приказани су, текстуално и сажето у табели 2.1, карактеристике и основни описи постојећих доступних научних студија ублажавања урбаног топлотног острва применом вегетационих кровова и снижења концентрације CO₂ у урбаном окружењу, главни резултати и референтна литература. У табели је наглашено који је тип истраживања рађен – експериментални, теоријски моделирањем, или оба типа. Неки од наведених радова коришћени су за валидацију резултата истраживања ове дисертације.

Табела 2.1: Карактеристике постојећих студија ублажавања урбаног топлотног острва и смањења концентрације CO₂ применом вегетационих кровова, главни резултати и референтна литература

| Референце | Град | Тип истраживања | Тип вегетационог крова | Резултати |
|------------------------------------|-----------------|--|--------------------------|--|
| <i>Снижење температуре ваздуха</i> | | | | |
| Smith and Roeber 2011 [94] | Чикаго, САД | Weather Research and Forecasting Model (ARW) model | екстензивни | температуре током периода 19:00–23:00 су 2-3 °C ниже у односу на модел без употребе зелених кровова |
| Rosenzweig et al. 2006 [52] | Њујорк, САД | MM5 model | екстензивни | у 15 сати на висини од 2 m изнад зелених кровова снижење температуре је просечних 0.4°C на нивоу целог града и 0.4 °C до 1.0 °C истражено на 6 локација, редом |
| Chen et al. 2009 [95] | Токио, Јапан | CSCRC model | екстензивни | скоро занемарљив утицај на нивоу пешака услед велике висине зграда на које су постављени зелени кровови |
| Ng et al. 2012 [96] | Хонг Конг, Кина | ENVI-met model | интензивни и екстензивни | скоро занемарљив утицај на снижење температуре на нивоу пешака, због велике висине зграда на које су постављени зелени кровови |
| Battista at al. 2016 [74] | Рим, Италија | ENVI-met model + експериментална мерења | екстензивни | имплементацијом система екстензивних зелених кровова снижава се температура за 0.5°C ујутру и 0.3°C током ноћи, док је у 14 сати допринос занемарљив |

| | | | | |
|---|----------------------------|---|--|--|
| Peng and Jim 2013 [51] | Хонг Конг, Кина | ENVI-met model RayMan model + експериментална мерења | екстензивни и интензивни | на нивоу пешака, екстензивни 0.4–0.7 °C и интензивни 0.5–1.7 °C |
| Razzaghmanesh at al. 2016 [48] | Аделаиде, Аустралија | ENVI-met model + експериментална мерења | интензивни и екстензивни | интензивни зелени кровови значајније редукују урбано топлотно острво од екстензивних |
| Sun et al. 2012 [97] | Тајпеи, Кина | експеримент | екстензивни | просечно 0.26 °C максимално 1.6 °C |
| Wong et al. 2003 [98] | Сингапур, Сингапур | експеримент | екстензивни | до 4.2 °C мерено на 30 cm од вегетационог крова у 18:00 h поподне |
| Li at al. 2014 [45] | Балтимор, САД | Weather Research and Forecasting (WRF) Model и Princeton Urban Canopy Model (PUCM) | екстензивни | до 1.41 °C на 2 m изнад земље (ниво пешака) |
| <i>Смањење концентрације CO₂</i> | | | | |
| Li at al. 2010 [39] | Хонг Конг, Кина | експерименти и Fluent софтвер | није специфицирано | експеримент: 12.9 g/m ³ нижа концентрација пре 16 сати, у 17 сати нема доприноса, повећање концентрације током ноћи до максималних 4.3 mg/m ³ модел: снижење до 9.3% у околини зеленог крова |
| Moghbel and Salim 2017 [64] | Техеран, Иран | експеримент | екстензивни | до просечних 27.98 ppm на 1 метар изнад површине вегетационог крова |
| Yang at al. 2008 [8] | Чикаго, САД | експеримент | комбиновано интензивни и екстензивни | 19.8 ha зелених кровова уклони 1675 kg полутаната на годишњем нивоу |
| Agra at al. 2017 [65] | Mount Carmel, Израел | експеримент | екстензивни | уколико се користи само седум резултати су занемарљиви аутори препоручују друге врсте екстензивне вегетације у циљу везивања CO ₂ |
| Heusinger and Weber 2017 [99] | Берлин, Немачка | експеримент (eddy covariance method) | екстензивни | 313 грама CO ₂ по m ² на годишњем нивоу |

2.1 Снижење температуре ваздуха у урбаним срединама применом вегетационих кровова

Доступно је само неколико студија које имају за циљ процену потенцијала смањења урбаних топлотних острва употребом зелених кровова на нивоу града. Већина студија користи симулационе технике засноване углавном на моделима урбаних целина или појединачних зелених кровова, и махом се баве екстензивним зеленим крововима. Доступне су важне студије за Њујорк и Чикаго у САД, као и за Хонг Конг и Токио. Важне информације се такође пружају у експерименталним студијама за Сингапур и Рим.

Иако су поређења приказаних доступних студија скоро немогућа, због потпуних специфичности улазних података и параметара сваке локације као и различитих пресечних висина и растојања од вегетационих кровова чији се резултати приказују, ипак се генерално може рећи да истраживачи долазе до различитих закључака – од тога да је апликација вегетационих кровова на високим зградама безмало неосетна стратегија снижења температуре на нивоу пешака, до резултата обимних студија за градове које приказују врло значајан допринос снижењу температуре у атмосфери, чак и до 3 степена.

Weather Research and Forecasting Model (ARW) аутори [94] су користили за истраживање потенцијала вегетационих кровова у циљу ублажавања континуираних климатских промена и глобалног загревања, за студију случаја града Чикага. Истраживан је типичан летњи дан. У студији за Чикаго, једном од градова са највећим бројем зелених кровова и значајним површинама кровова под вегетацијом, о чему је детаљно писано у претходном поглављу, снижава се температура у урбаном окружењу до чак 3 °C, апликацијом вегетационих кровова, кроз повећани алbedo и евапотранспирацију. Температуре током периода 19:00–23:00 сата су 2-3 °C ниже у поређењу са температурама симулираним без употребе зелених кровова. Током вечерњих и ноћних сати моделирањем је предвиђен 1 °C снижења температуре у спољном окружењу. Аутори, чланови Atmospheric Science Group, Department of Mathematical Sciences, University of Wisconsin-Milwaukee, USA, закључују да имплементација зелених кровова у урбаним подручјима резултира значајним ефектом хлађења ваздуха.

У сличној студији за Њујорк [52] је моделирано снижење температуре ваздуха два метра изнад површине вегетационих кровова, на основу сценарија у ком је претпостављено да је 100% кровних површина расположивих кровова конвертовано у зелене кровове. Резултати MM5 model-а процењују снижење температуре од око 0.2 °C за цео град као целину, упросечно на дневни ниво. Резултати модела су показали да ће температуре у 15 сати поподне бити снижене за просечних 0.4 °C на нивоу града. Истраживачи са Columbia University, New York су такође детаљно оценили шест различитих урбаних структура односно подручја у Њујорку. Локација са највишим 24-часовним просечним снижењем температуре имала је промену од 0.6 °C, а снижење у три сата поподне у истраживаних шест локација варира од 0.4 °C до 1.0 °C.

Симулације истраживача са School of Architecture and Urban Planning, Huazhong University of Science & Technology и Institute of Industrial Science, The University of Tokyo, Токио, Јапан [95], рађене су за Токио како би се проценио потенцијал различитих техника ублажавања урбаних топлотних острва, укључујући и употребу зелених кровова. Коришћен је CSCRC model. Разматрани су екстензивни зелени кровови са травом у завршном слоју. Симулације су показале да апликација вегетационих кровова на зградама велике висине нема потенцијална за снижење температуре околине на нивоу пешака, односно да је утицај занемарљив.

Слично као у студији за Токио, аутори са Универзитета у Хонг Конгу [96], где је процењен микроклиматски утицај вегетационих кровова инсталираних на крововима зграда висине 60 метара у Хонг Конгу, долазе до закључка да је утицај на нивоу пешака занемарљив. Симулације модела рађене су алатом ENVI-met. Симулирани су и интензивни и екстензивни зелени кровови. Утврђено је да је потенцијално снижење температуре околине на нивоу улице у области велике густине изграђености и високих објеката скоро нула.

Симулацијама и експерименталним истраживањем за Рим [74] анализиран је утицај зелених кровова на ублажавање ефекта урбаног топлотног острва и резултати показују снижавање температуре ваздуха од 0.5 °C ујутру и 0.3 °C ноћу, апликацијом екстензивних зелених кровова, што је резултат истраживања групе истраживача са University of Roma TRE, Department of

Engineering, из Рима. У овом истраживању резултати симулација ENVI-met-ом потврђени су експерименталним мерењима.

Теоријско (ENVI-met и RayMan моделима) и експериментално истраживање рађено у три фазе за Хонг Конг [51] показало је да екстензивни и интензивни зелени кров може значајно побољшати микроклиму у својој близини, али смањити и потрошњу енергије објекта. Такође, истраживањем је установљено да систем зелених кровова може допринети побољшању микроклиме читавог насеља. Резултати на нивоу насеља за различите урбане форме типичног летњег дана показали су следеће максималне вредности варијације температуре на нивоу пешака: употребом екстензивних кровова 0.4–0.7 °C, и интензивних 0.5–1.7 °C, са максималним ефектом у подручјима са ниским објектима.

Експеримент и теоријски модел софтвером ENVI-met [48] су рађени од стране истраживача са School of Natural and Built Environments, University of South Australia, Adelaide, Аустралија. Истраживан је типичан сунчани летњи дан у Аделаиди, Аустралија. У овом истраживању истраживачи су се бавили утицајем интензивних и екстензивних зелених кровова. Експериментално је праћен утицај два типа вегетационих кровова, на редукацију температуре у урбаној средини. Резултати су показали да употреба вегетационих кровова има значајан ефекат снижења спољне температуре ваздуха у летњим месецима а такође, услед тога што вегетациони кровови чине додатни слој термоизолације, у зимским месецима зелени кровови доприносе смањењу губитака топлоте. Поред тога, различити сценарији апликације зелених кровова у урбаном окружењу истражени су коришћењем ENVI-met софтвера. Моделирање различитих сценарија додавања зелених кровова (додавањем зелених кровова на 10, 20 или 30% кровних површина) у типичним урбаним подручјима у Аделаиди, Аустралија, подржало је претпоставку да употреба зелених кровова доводи до смањења потрошње енергије у зградама и да интензивни зелени кровови значајније редукују урбано топлотно острво од екстензивних. Прецизни нумерички резултати снижења спољне температуре ваздуха нису приказани, већ су дати општи закључци и вредности температура површина.

Потенцијал ублажавања урбаног топлотног острва употребом зелених кровова се процењује експериментално, мерењем температуре ваздуха на различитим висинама у Сингапуру. Аутори [98] закључују да је ефекат хлађења употребом вегетационог крова у корелацији са близином вегетације. Максимална измерена температурна разлика околног ваздуха била је 4.2 °C, мерена на 30 cm од вегетационог крова, у 18:00 h поподне. За већа растојања, а посебно на висини од 1 m, ефекат хлађења се примећује током целог дана, а нарочито од поподнева до изласка сунца наредног дана. Студија закључује да су зелени кровови потенцијално ефикасни у случајевима висине објеката до 10 m.

Експериментална студија за Тајпеј [97] оцењује да се температура околине на 2.5 метра изнад земље услед утицаја зеленог екстензивног крова снижава просечно за 0.26 °C. Максимално снижење температуре било је близу 1.6 °C. Аутори након постављеног експеримента закључују да је током дана утицај веома значајан, и важнији него током ноћи, што је различито од претходно наведеног истраживања [98].

Истраживање ублажавања урбаног топлотног острва на градском нивоу урађено је помоћу софтверског модела Weather Research and Forecasting Model (WRF) у комбинацији са Princeton Urban Canopy Model (PUCM). Истраживачи са Princeton University, Princeton, САД [45] истраживање су спровели за услове веома топлих летњих дана (7-10. јун 2008.) за климатске услове Балтимора, САД. Закључак истраживања је да је снижење температуре ваздуха у комерцијалним/индустријским урбаним подручјима више него у урбаним подручјима ниске густине. На нивоу 2 метра изнад земље, са покривеношћу кровова 100% екстензивном вегетацијом (седум), у комерцијалним зонама температура ваздуха у атмосфери снижава се до 1.41 °C.

2.2 Снижавање концентрације CO₂ у урбаним срединама применом вегетационих кровова

Биљке могу побољшати квалитет ваздуха уклањањем полутаната природним процесом фотосинтезе, о чему је већ писано у претходном поглављу и биће речи у наредним поглављима. Способност пречишћавања ваздуха вегетацијом добија све већу пажњу у истраживањима, услед покушаја да се

пронађу одржива решења урбаног развоја, у времену континуираног и брзог погоршања квалитета животне средине [39][60][8][61][62].

Међутим, истраживања о квантитативном процењивању ефеката зелених кровова на снижење концентрације CO₂ у урбаним зонама и даље су врло оскудна. У наредним пасусима приказана су доступна научна истраживања и студије, а нека од наведених су коришћена у каснијој валидацији резултата овог истраживања.

У студији случаја Хонг Конг-а [39] седморо аутора са различитих универзитета (Department of Applied Mechanics and Engineering, University in Guangzhou, China / Ryerson University, Toronto, Canada / Department of Civil & Structural Engineering, The Hong Kong Polytechnic University) након постављеног експеримента закључују да је снижење концентрације CO₂ у околини зелених кровова значајно. Аутори су у првом делу рада експериментално проучили утицај зеленог крова на концентрацију CO₂ у амбијенту мерењем разлике концентрације CO₂ у средини биљака на зеленом крову и у ваздуху изнад оближњег битуменског крова. Подаци показују да је просечна концентрација CO₂ изнад зеленог крова, типичног сунчаног дана са slabим ветром, била 12.9 g/m³ нижа него на контролном крову током дана пре 16 сати, док у 17 сати нема никаквог доприноса. Незнатно се повећава концентрација током ноћи, до максималних 4.3 mg/m³. Резултати наставка истраживања, симулацијама Fluent софтвером, за сунчани летњи дан показали су да је концентрација CO₂ у околини око зеленог крова знатно пала, до 9.3%.

Истраживање аутора са националног Универзитета у Техерану [64] односи се на процену потенцијала екстензивних зелених кровова у повећању еколошке функције у урбаним подручјима, за климатске услове Техерана. Истраживање је спроведено експериментално. Изабране су две суседне зграде са црним и вегетационим кровом. За типичан сунчани дан резултати показују да је просечна концентрација CO₂ изнад зеленог крова током студираниог периода била у просеку 27.98 ppm и 20.71 ppm нижа од референтног битуменског крова (унутар и ван постављеног screen box-а). Мерења су вршена на 1 метар изнад површине кровова. Аутори закључују да чак и ниско растиње у завршном слоју

вегетационог крова доприноси снижењу садржаја CO₂ у ваздуху и побољшању услова животне средине.

Аутори експеримента, истраживачи са универзитета у Масачусетсу, САД и Гангзау, Кина [8], квантификовали су да 19.8 ha зелених кровова годишње уклони 1675 kg полутаната у Чикагу. Највећи је допринос у мају, а најмањи у фебруару. Количина уклоњених загађивача повећала би се на 2046.89 тона уколико би се сви кровови у Чикагу конвертовали у зелене кровове са интензивном вегетацијом. Аутори закључују да, иако скупо, инсталисање зелених кровова може бити дугорочно оправдано уколико се у обзир узму значајне користи за животну средину и ублажавање климатских промена. Такође, један од закључака је да је недостатак јавних зелених простора делимично могуће надоместити инсталацијом зелених кровова, а све у циљу контроле загађења ваздуха.

Истраживачи са универзитета у Израелу [65], долазе до закључка након постављеног експеримента на малој површини вегетационог крова, да је за климатске услове у Израелу могуће снижење концентрације CO₂ у атмосфери, мерено на годишњем нивоу, али не користећи само sedum за екстензивне зелене кровове. Sedum, према ауторима, нема значаја за снижење концентрације CO₂ у атмосфери. Аутори закључују да је важно користити и друге врсте вегетације, што је била и полазна хипотеза њиховог истраживања, када су у питању екстензивни зелени кровови, уколико се посматра побољшање квалитета животне средине. Како би се осигурао виши степен апсорпције CO₂ од стране биљака, потребно је садити екстензивну вегетацију која има већи потенцијал везивања CO₂.

Аутори са Technische Universität Braunschweig у Немачкој [99] мерили су, на годишњем нивоу, кумулативну размену CO₂ екстензивног зеленог крова у спољној атмосфери. Резултати говоре у прилог коришћења екстензивних вегетационих кровова, где је измерено да за годину у којој је било различитих временских услова, екстензивна вегетација веже 313 грама CO₂ по инсталисаном метру квадратном вегетационог крова. Уколико би се поставио систем иригације, аутори сматрају да би резултати били знатно бољи.

На основу прегледа и анализе литературе закључује се да генералне смернице за климатски повољно урбанистичко планирање и енергетски ефикасну и одрживу архитектуру није могуће развити с обзиром на различитост климатских утицаја, микроклиматских утицаја, географску локацију, типове вегетације, међусобне односе и посебности типова изграђених структура у градовима.

Услед свега набројаног немогуће је директно применити ни резултате истраживања утицаја вегетационих кровова спроведених у другим градовима на Београд.

На бази прегледа доступне литературе констатовано је да за град Београд не постоје поуздани подаци и истраживања о утицају зелених кровова, на основу којих би се утврдили ефекти њихове употребе. Зато ће у овом истраживању бити развијен сопствени модел постојећег стања и сопствени модели утицаја вегетационих кровова у климатским условима Београда за различите типове урбаних целина.

Због свих микроклиматских посебности и специфичности грађевинских и урбаних структура овом дисертацијом истражиће се и објаснити ефекти примене система зелених кровова у климатским условима Београда на побољшање микроклиматских услова у урбаном окружењу.

У дисертацији ће се истражити утицај система вегетационих кровова у београдском климатском подручју за ниво урбанистичких целина коришћењем софтверског алата ENVI-met.

У циљу истраживања користиће се четири сценарија употребе система зелених кровова на постојећим зградама и упоредити са основним, реалним моделом на четири изабране локације, како би се на типичним примерима урбанистичких структура и изградње на територији Београда истражило побољшање микроклиматских услова – снижење температуре ваздуха и смањење емисије CO₂ у урбаном окружењу.

3. ПРЕДМЕТ И ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА, ПРОБЛЕМИ И ХИПОТЕЗЕ, ФАЗЕ ИСТРАЖИВАЊА И СТРУКТУРА ДИСЕРТАЦИЈЕ

Климатски одговорно планирање градова (*climate conscious urban design*) чини скуп елемената и стратегија које је могуће применити у савременим градовима. Научни задатак овог рада је истраживање утицаја на микроклиму урбаних целина применом система зелених кровова на постојећим стамбеним објектима у Београду и променом постојећих материјала у јавним просторима (саобраћајнице, тротоари, тргови, игралишта, паркиралишта).

3.1 Предмет и циљ истраживања

У оквиру ове дисертације истражују се и објашњавају ефекти примене система зелених кровова у климатским условима Београда на:

- снижење температуре ваздуха у урбаном окружењу,
- смањење емисије CO₂ у урбаном окружењу.

Испитују се ефекти трансформације равних кровова у зелене кровове постојећег грађевинског фонда, на изабраним типовима изградње карактеристичним за Београд.

Истраживање се спроводи на четири изабране локације које су репрезенти типичног стамбеног грађевинског фонда Београда (стамбене зграде ниске спратности, солитери, стамбена изградња у густо изграђеном урбаном подручју и породичне куће). На тај начин истражен је утицај зелених кровова на најзаступљенијим, а типичним моделима изградње и урбаних структура у централној зони Београда.

Осмишљен је и развијен модел који репрезентује постојеће стање и сопствени модели утицаја вегетационих кровова.

У оквиру поменутих модела истражено је и анализирано следеће:

- промене спољне температуре ваздуха (у висини пешака и на нивоу кровова),
- ефекти примене система зелених кровова у комбинацији са употребом „хладних“ материјала на отвореним градским просторима,

- снижење концентрације CO₂ применом система зелених кровова у густо изграђеном урбаном подручју централне зоне Београда.

Промене у концентрацији CO₂ истражене су на једној изабраној локацији у центру Београда, на висинама 1.5 m (ниво пешака), 7.5 m и 17.5 m, типичног летњег дана у Београду. Истраживане висине су изабране као карактеристичне и везане су за пешачку раван (1.5 m), средину висине процентуално најзаступљенијих грађевинских објеката на локацији (7.5 m) и 2.5 m изнад кровних равни (17.5 m).

Предмет докторске тезе је, дакле, утврђивање последица примене система зелених кровова, екстензивних и интензивних, на постојећим објектима са равним крововима на карактеристичним локацијама, на микроклиму ужег градског језгра Београда.

Циљ истраживања је квантификација доприноса снижењу спољашње температуре ваздуха и снижења концентрације CO₂, односно побољшања микроклиматских услова употребом система вегетационих кровова у климатским условима Београда. Поред тога истражују се и ефекти примене система зелених кровова у комбинацији са употребом „хладних“ материјала у јавним градским просторима, што хипотетички даје побољшане резултате у умањењу ефекта урбаног топлотног острва.

Један од циљева дисертације је и указивање на значај вегетационих кровова као потенцијално важног дела система зелене инфраструктуре у граду Београду. Употреба зелених кровова посебно је значајна у густо изграђеним градским подручјима и целинама са дефицитом зелених површина.

Ово истраживање даје научну основу за употребу вегетационих кровова на постојећим и планираним грађевинским објектима, а такође представља и научну аргументацију за промоцију употребе зелених кровова пред доносиоцима одлука, грађанима и инвеститорима у Београду.

3.2 Основни проблеми истраживања

Основни проблеми са којима се ово истраживање сусреће су:

- недовољна истраживања на тему вегетационих кровова у нашој земљи и недовољно поуздани подаци,
- занемарљив број примера у домаћој пракси пројектовања и реализације вегетационих кровова,
- недовољна истраженост односа утицаја вегетационих кровова на микроклиму урбаног подручја Београда,
- недовољна истраженост односа утицаја вегетационих кровова на микроклиму урбаних подручја за климатске услове компатибилне београдским (умерено континентална клима),
- недовољна истраженост урбаног топлотног острва Београда,
- недовољна истраженост односа утицаја вегетационих кровова на енергетске перформансе омотача зграда у климатским условима компатибилним београдским (умерено континентална клима),
- економска условљеност у реализацији вегетационих кровова,
- питање власништва равних кровова постојећег грађевинског фонда стамбених објеката у Београду, који се рефлектује на приступ равним крововима и инсталацију и мониторинг евентуалних експерименталних вегетационих кровова који би били пример добре праксе у Београду и увод у аргументацију за инсталацију читавих система вегетационих кровова на равним крововима постојећих објеката који представљају значајан потенцијал,
- вишедеценијски „негативан“ и одбојан однос како станара зграда тако и дела опште јавности и управљача јавним фондовима према равним крововима стамбених објеката где се равни кровови тумаче као проблем (пре свега одржавања) а не као шанса за енергетска унапређења омотача и побољшање квалитета животне средине, што у значајној мери кочи реализацију практичних експеримената и акција везаних за реализацију вегетационих кровова у Београду.

3.3 Полазне хипотезе истраживања

У изради дисертације пошло се од хипотезе да се инсталацијом система зелених кровова за климатско подручје Београда може снизити температура спољног ваздуха, односно смањити ефекат урбаног топлотног острва у урбаним целинама.

Друга хипотеза је да се употребом вегетационих кровова снижава концентрација CO₂ у ваздуху у урбаним срединама.

Трећа хипотеза је да се ефекат инсталације система зелених кровова на снижење температуре осећа у спољном окружењу код свих типова изградње, с тим што се значајније побољшање на нивоу пешака очекује у подручјима са објектима ниже висине, спратности приземље или приземље и један спрат (магацини, радионице, школе, вртићи, подземне гараже) него у подручјима са зградама високе спратности. На нивоу крова (последњег спрата у објектима) очекиван је исти или приближно исти ниво снижења температуре за све типове изградње и спратности.

Четврта хипотеза је да се употребом „хладних“ материјала у материјализацији јавних површина (тротоари, саобраћајнице, игралишта, тргови...) снижава температура ваздуха у спољној средини.

Пета хипотеза је да вертикални температурни профил показује значајнији утицај хладних материјала на нивоу пешака него на већим висинама.

3.4 Научне методе истраживања

Узимајући у обзир комплексност теме и имајући у виду претходно изложене циљеве и задатке истраживања, у докторској дисертацији користе се следеће опште и посебне научне методе које су примењене у поступку реализације научних резултата (доприноса):

- формирање информационе базе података о зеленим крововима;
- систематизација и критичка анализа литературе, као и упоредна анализа проучаваних научних метода, поступака, приступа и примера;

- увођење хипотезе да се употребом зелених кровова побољшавају микроклиматски параметри (снижење температуре спољне средине и смањење концентрације CO₂);
- развој сопственог модела утицаја вегетационих кровова;
- параметарска анализа модела;
- анализа добијених резултата; и
- поређење добијених резултата са резултатима других аутора.

3.5 Научна оправданост истраживања

Реализацијом циљева докторске дисертације применом наведених општих и посебних научних метода добијени су резултати који имају научни допринос, као и општи карактер и могу се применити.

Кључни научни допринос дисертације састоји се у следећем:

- На бази спроведених истраживања и развијеног модела инсталације система зелених кровова утврђено је колико примена зелених кровова доприноси снижавању спољашње температуре ваздуха у урбаним срединама.
- Утврђено је какви се резултати добијају у умањењу ефекта урбаног топлотног острва и побољшању микроклиматских параметара применом зелених кровова у комбинацији са „хладним“ материјалима у јавним просторима.
- Развијени модел показао је колико се у урбаним срединама смањује концентрација CO₂ у ваздуху применом зелених кровова, у климатском подручју Београда.

Стручни резултати који унапређују инжењерску праксу, укључујући и могућност примене су следећи:

- Докторска дисертација пружа научну основу и подршку разумевању употребе вегетационих кровова на постојећим и планираним грађевинским објектима.

- Добијени резултати омогућавају сагледавање потенцијала примене зелених кровова у рехабилитацији и планирању градова који је еколошки, економски и социјално одржив.
- Практична примена истраживања огледа се у могућностима директне примене предложеног принципа инсталације система вегетационих кровова у реконструкцији равних кровова постојећег грађевинског фонда у Београду и у целој Србији, као и код пројектовања нових објеката.
- На бази спроведених истраживања у оквиру дисертације створена је основа за даље правце истраживања у овој области.
- Општост резултата развијених сопствених модела омогућава њихово апликовање на ширем подручју.

3.6 Фазе истраживања и структура дисертације

Истраживање у оквиру докторске дисертације одвијало се кроз следеће фазе:

- У првом делу истраживања анализирана је целокупна проблематика рада, уз критичку анализу одговарајуће литературе у области примене зелених кровова.
- У другом делу у циљу истраживања утицаја система вегетационих кровова у београдском климатском подручју развијен је сопствени модел постојећег стања и сопствени модели утицаја вегетационих кровова.
- Трећи део обухватио је истраживање утицаја потенцијалних модела реконструкције имплементацијом система вегетационих кровова (екстензивних и интензивних) на постојећим објектима различитих типова на микроклиму ужег градског језгра Београда и комбиновани утицај употребе екстензивних и интензивних равних кровова и „хладних“ материјала у јавним просторима. Снижење концентрације CO₂ и снижење температуре ваздуха истражено је на различитим висинама – на нивоу пешака (1.5 метар) и на нивоу кровних равни на којима се постављају вегетациони кровови. Снижење концентрације CO₂ истражено је и за висину од 7.5 метара.
- У четвртом делу урађена је детаљна анализа резултата моделирања за четири карактеристична типа изградње стамбених објеката (стамбене

зграде ниске спратности, солитери, изградња у густо изграђеном централном подручју и породичне куће) у климатским условима Београда.

- У петом делу урађена је валидација резултата и компарација аналитичких резултата са експерименталним подацима других истраживања.
- У шестом, завршном делу, урађена је дискусија резултата на основу које су изведени закључци о утицају система вегетационих кровова на микроклиму у урбаним целинама за климатско подручје Београда.

Докторска дисертација структурирана је у следеће целине:

- Уводна разматрања и опис проблема.
- Преглед литературе и приказ постојећих радова у области примене вегетационих кровова, са фокусом на ублажавање ефекта урбаног топлотног острва и утицаја на микроклиму у урбаним срединама.
- Анализа и критичка оцена софтверских алата у истраживањима утицаја зелених кровова.
- Избор алата за моделирање.
- Опште карактеристике одабраног софтверских алата ENVI-met.
- Развој сопственог модела постојећег стања.
- Развој сопствена четири модела реконструкције стамбених целина у Београду, имплементацијом зелених кровова, екстензивних и интензивних и комбинацијом зелених кровова и материјала повољнијих термичких карактеристика у материјализацији завршног слоја површина у јавном простору (паркиралишта, тргови, скверови, игралишта, тротоари, саобраћајнице).
- Представљање и приказ различитих модела.
- Спровођење симулација модела постојећег стања и модела реконструкције за различите типове изградње и статистичка обрада добијених података.
- Дискусија добијених резултата за различите моделе изградње и висине објеката, на снижење температуре ваздуха и редуковање емисије CO₂ у урбаном окружењу, за климатско подручје Београда.

- Анализа ефикасности имплементације зелених кровова на микроклиму, за различите моделе изградње.
- Валидација резултата модела са експерименталним резултатима у другим истраживањима и међусобно поређење модела.
- Закључак о оствареним резултатима, научном и инжењерском доприносу докторске тезе и предлог наставка истраживања у овој научној области.

4. ПРЕГЛЕД МОДЕЛА У ИСТРАЖИВАЊИМА ЗЕЛЕНИХ КРОВОВА

У оквиру овог поглавља дат је преглед софтвера за моделирање у истраживањима утицаја зелених кровова, преглед специфичних захтева микроклиматског моделовања, критеријуми одабира софтвера за истраживање у овој дисертацији, као и опште карактеристике одабраног модела.

4.1 Софтверски алати у истраживањима утицаја зелених кровова

У научним истраживањима утицаја зелених кровова на ублажавање урбаног топлотног острва, животну средину и енергетску ефикасност у употреби су бројни софтвери за моделирање.

За симулације процеса најчешће се користи ENVI-met [43][44][47][72][79][76][100]. У зависности од нивоа истраживања и жељених излазних резултата, када се истражују и детаљне термичке карактеристике омотача објекта, ради се комбинација софтвера, као на пример ENVI-met и EnergyPlus [101][75][80], Eco Roof simulation model и EnergyPlus [77]. За компликованије појединачне објекте користи се и TRNSYS [102].

На бази предвиђања добијених коришћењем симулације одговарајућим софтвером могуће је предвидети утицај волуметрије групације грађевинских објеката и испитати варијантна решења и њихов утицај у одређеним градовима. Резултати симулација модела се користе и за урбанистичко планирање нових насеља и истраживање погодности различитих урбаних форми, позиција и типова вегетације у односу на локалне микроклиматске карактеристике [103][104][72][79].

Неопходно је да истраживачи који желе да процене утицај својих пројеката на урбану микроклиму одређеног града симулирају свој специфичан пројекат уз помоћ софтвера (алата) за микроклиматско моделирање.

Директна примена резултата научних истраживања која су доказана као корисна за једна град, на пример оптимизација урбанистичког склопа, позиције вертикалног зеленила и грађевинских објеката у односу на интензитет и смер ветра, могла би имати нежељене ефекте или нуспојаве у другом граду са другачијим климатским условима и микроклиматским карактеристикама. Због

бројних интеракција и нелинеарних корелација међу различитим аспектима микроклиме, потребно је увести бројне претпоставке. Стога није могуће дати генерални модел који је општег карактера и може се применити за све градове, за микроклиматски повољно урбанистичко планирање и архитектуру [1].

У циљу што тачније симулације процеса и физике атмосферског граничног слоја истраживане зоне и добијања што прецизнијих резултата, неопходно је да буду испуњени следећи захтеви [105]:

- величина основне поделе мреже (*grid size*) мора бити довољно прецизна да одговара моделирању зграда ($\leq 10\text{m}$),
- модел мора да има могућност имплементације специфичности и термофизичких карактеристика елемената модела,
- неопходно је укључити симулацију физичких и физиолошких особина биљака,
- израчунавање атмосферских процеса и интеракција мора бити прогностичко и веома прецизно.

Већина микроклиматских алата који се тренутно користе у истраживањима (Miskam, Muklimo 3, Solweig, Rayman) фокусирају се само на један микроклиматски аспект и због тога не испуњавају све горе наведене захтеве [1].

Све поменуте критеријуме у потпуности испуњава тродимензионални микроклиматски модел ENVI-met (www.envi-met.com).

ENVI-met алат се показао као најпоузданији у моделирању микроклиматских утицаја. ENVI-met омогућава симулацију сваког аспекта урбане микроклиме и коришћен је у бројним научним истраживањима. Према [1] тренутно не постоји друга слободно доступна микроклиматска симулација са истим функционалним опсегом и тачношћу као ENVI-met.

Критеријумском анализом софтверских алата утврђено је да ENVI-met дозвољава детаљно моделирање које подразумева разлику у врсти вегетације, што је за истраживање утицаја различитих типова вегетационих кровова на микроклиму у урбаним срединама неопходно.

На бази верификације резултата симулација ENVI-met-ом са бројним експерименталним резултатима потврђено је да је ENVI-met изузетно поуздан алат у истраживањима микроклиматских утицаја вегетације (преглед литературе дат је у наредном потпоглављу).

Такође, ENVI-met је погодан за веће урбане целине, делове изграђених подручја градова, што представља предност у односу на друге софтверске алате.

Предности ENVI-met-а у поређењу са другим микроклиматским моделима леже у холистичком приступу ENVI-met-а за симулирање сложених интеракција између грађевинских структура, атмосфере, тла, загађивача/полутаната и вегетације, у једном моделу. ENVI-met је јединствени алат за детаљну симулацију вегетације и процеса индивидуалне фотосинтезе сваке биљке, узимајући у обзир локалне карактеристике соларног зрачења, температуру и влажност ваздуха, брзину ветра, висину, облик и материјализацију објеката и друге параметре специфичне за сваку посебну истраживану локацију.

ENVI-met поседује, у односу на друге софтверске микроклиматске алате, додатни ниво детаљности типова вегетације и њеног утицаја, као и способност да развије профиле за вегетацију специфичне за истраживану локацију у односу на њене климатске и географске специфичности.

Модел ENVI-met се показао као поуздан, признат стандардни метод за процену урбане микроклиме. Квалитет модела константно оцењују независна научна истраживања, публикације и дисертације.

Квантификација побољшања фактора утицаја на животну средину система урбаних екстензивних и интензивних зелених кровова у Београдском климатском подручју за ниво урбанистичких целина истражена је у овој дисертацији уз помоћ софтверског алата ENVI-met. На основу прегледа и анализе литературе ENVI-met је одабран за истраживање у Београду јер се у научним истраживањима показао као најпоузданији и најпрецизнији.

4.2 ENVI-met

ENVI-met је научно утемељен прогностички, тродимензионални модел урбане микроклиме високе резолуције [106][2].

ENVI-met је развијен 1995. године на Ruhr-University Bochum у Немачкој. Користи се за моделирање интеракција између површина/објеката, вегетације и ваздуха у урбаном окружењу [106][2]. Поред Microsoft Windows операционог система, подржава га и Unix. Посебно је осмишљен за истраживање микроклиматских утицаја у изграђеном окружењу, односно урбаним срединама. Намењен је за истраживање утицаја елемената урбаног дизајна и дизајна објеката (геометрија, волумен и материјализација објеката, типови земљишта, материјализација слободних површина, позиција и врсте вегетације) на микроклиму урбаних целина у изабраним подручјима која имају своје јединствене климатолошке карактеристике.

ENVI-met је примењен за студије урбане микроклиме у различитим климатским регионима [44][47][79][76][100][107][108]. Поједини истраживачи своје резултате моделирања ENVI-met-ом верификовали су резултатима сопствених експеримената на терену [72][48][109][110][111][43]. Верификацијом резултата симулација резултатима експеримената потврђена је поузданост и прецизност прогностичког софтверског алата ENVI-met.

ENVI-met модел омогућава да се са високом прецизношћу симулирају проток ваздуха око и између зграда, процеси размењивања топлоте и паре са урбаних површина, турбуленција, размена енергије и масе између вегетације и урбане околине, дисперзија загађујућих честица и једноставне хемијске реакције.

У овом истраживању моделирање је извршено софтвером ENVI-met Version 4 (Summer17 Release).

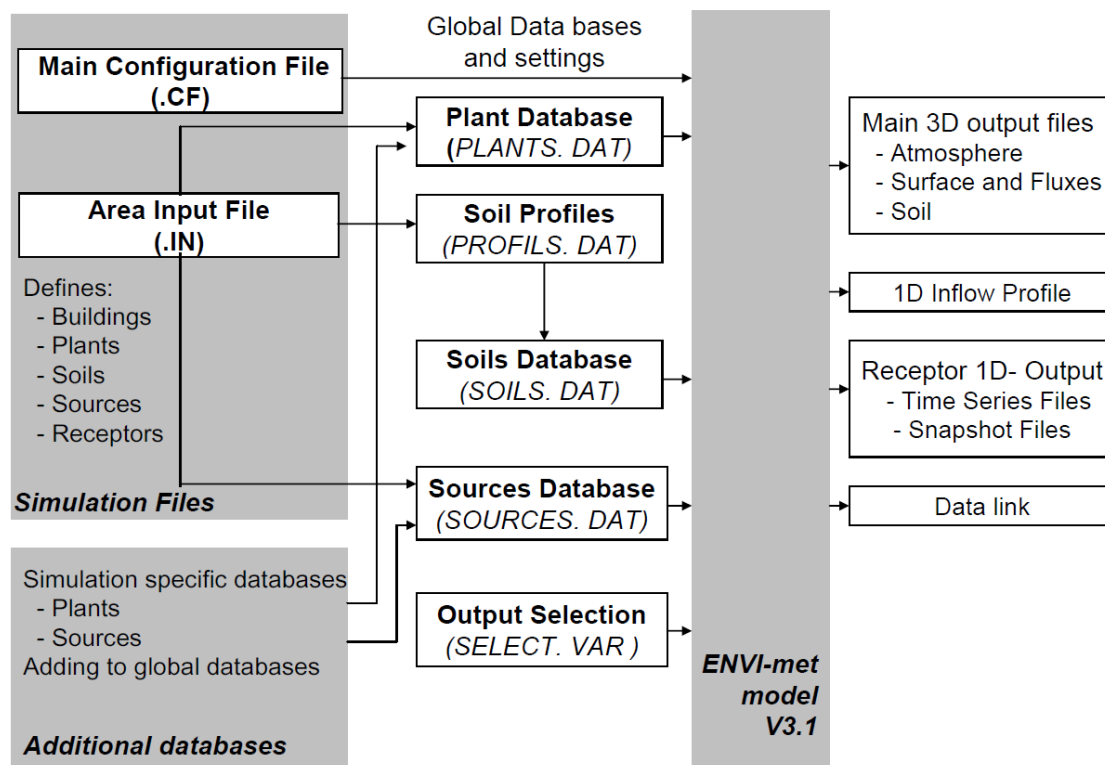
4.3 ENVI-met input и output

ENVI-met захтева конфигурацијску датотеку (*configuration file*) са иницијалним улазним параметрима (*input parameters*) и улазну датотеку (*input file*) са тродимензионалном геометријом објеката.

Главни улазни параметри (*input parameters*) моделирања ENVI-met-ом укључују географске одреднице локације, временске услове, и иницијалне температурне профиле а улазна датотека (*input file*) структуру и физичке особености објеката и урбаних површина, и вегетацију.

Излазни подаци (*output data*) ENVI-met Version 3.1 укључују тродимензионалну расподелу зрачења/радијације, температуре, топлотног флукса, влажности и интензитета и смера ветра (слика 4.1) [1]. Вредности излазних параметара (*output parameters*) добијају се за сваку тачку 3D мрежне поделе (*grid*) унутар домена моделирања.

Основна структура ENVI-met-а приказана је на слици 4.1.

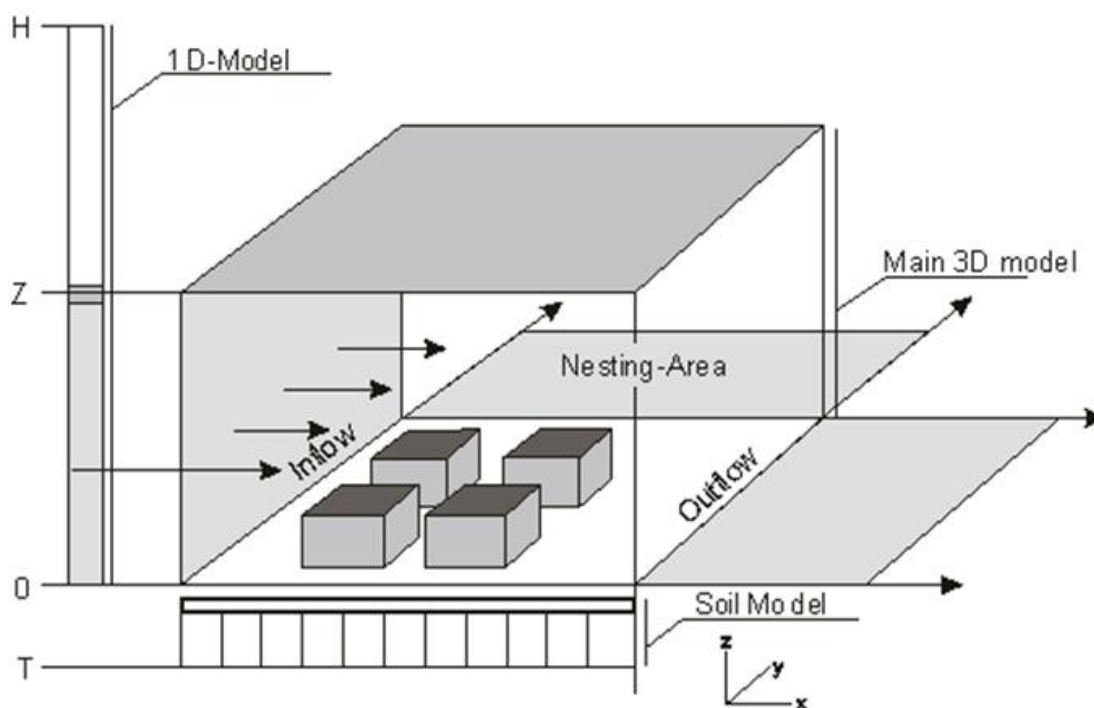


Слика 4.1: Основна структура ENVI-met-а [1]

За визуелизацију резултата ENVI-met-а (*output*) користи се софтверски алат LEONARDO, који је као и алат ENVI-met, развијен на Ruhr-University Bochum [2].

4.4 Опште карактеристике ENVI-met модела и метод

Модел ENVI-met се у основи састоји од једнодимензионалног граничног модела који обухвата вертикалне профиле различитих метеоролошких параметара до висине од 2500 метара (приближно висине планетарног граничног слоја) и тродимензионалног језгра модела (*core model / main 3D model*) који укључује процесе везане за атмосферу, земљиште, објекте и вегетацију. Такозвано „гнездо“ (*nesting area*) је подручје које окружује језгро модела. Његова сврха је стварање стабилних бочних граничних услова за *core model* (слика 4.2) [2].



Слика 4.2: ENVI-met модел [2]

Типична „резолуција“ модела је следећа: величина поделе мреже је 0.5-10 метара у простору, а временски интервал читавања података је 1-5 секунди у времену. Ова резолуција омогућава прецизну анализу интеракција на микронивоу између појединачних зграда, површина и биљака. Период који се симулира је обично између 1 и 5 дана [105][1].

Период симулације и иницијално време одређује корисник. Уобичајено је да се почетак симулације у трајању од 24 сата подеси на 5 сати изјутра, како би се пратили природни процеси од изласка Сунца. Очитавање података модела је изузетно прецизно (1-5 секунди) а добијени резултати и подаци се бележе на сваки пун сат. Бележењем на сваки сат добијају се бројни прецизни истраживачки подаци који се у даљим фазама истраживања евалуирају или користе као иницијални подаци у наредним истраживањима. С обзиром на обимне прорачуне и бројне излазе, као и прецизност читавања модела на 1-5 секунди, време које је потребно за симулацију једног сата износи обично 4-6 сати, али и дуже. Дужина трајања симулације зависи пре свега од величине, сложености и детаљности модела.

За коришћење ENVI-met-а потребно је убацити податке у две улазне датотеке.

Прва датотека је конфигурациона датотека (*configuration file*) која захтева унос иницијалних улазних података о географским карактеристикама истраживане локације, датума за који се ради симулација и параметара иницијализације. Параметри иницијализације су време почетка симулације, дужина симулације, иницијална брзина ветра, потом максимална и минимална температура ваздуха, максимална и минимална влажност ваздуха, као и друге почетне вредности. Климатолошки подаци преузимају се из валидних хидрометеоролошких годишњака и званичних статистика.

Друга датотека је улазна датотека (*input file*). Када се дефинишу улазни подаци прво се приступа поставци мреже (*grid*) на којој се „гради“ модел истраживане области/локације. Величина мреже може варирати од 20x20 ћелија, до 250x250 ћелија. Свака ћелија може имати резолуцију од, како је већ

наведено, 0.5x0.5 m до 10x10 m. Број ћелија и резолуција дефинишу се на основу величине и сложености истраживаног подручја.

Потом се области које се моделирају постављају на формирану мрежу. Моделирање захтева унос детаља елемената са локације – грађевинских објеката са њиховим специфичним висинама, позицијама, волуметријом, затим дрвећа и друге вегетације, као и типовима тла. Израђује се прецизан модел подручја, како у положају објеката и површина тако и у њиховој материјализацији. Дакле, главни симулацијски input је просторни улазни фајл подручја који дефинише тродимензионалне просторне обрасце зграда, вегетације и врсте тла истраживане области.

Како би се припремио улазни фајл потребне су просторне информације о подручју, које се прикупљају из ортофото подлога, катастарско топографских подлога, планова детаљне регулације, основних државних карата и других доступних а поузданих подлога које садрже валидне информације. Остали потребни подаци укључују висине објеката и податке о тлу и вегетацији. Подаци се утврђују на основу литературе и/или истраживања на терену.

Дакле, прво се направи мрежа истраживаног домена одређене величине и поделе, те се потом подаци у модел уносе, на нивоу ћелије, селектовањем врсте тла, положаја и врсте вегетације и одређивањем положаја, висина и материјализације зграда.

Тачке које су од интереса за пажљиво испитивање могу бити специфициране као тачке рецептора (контролне тачке).

Када се дефинишу улазни параметри, формира модел и дефинишу контролне тачке, раде се симулације.

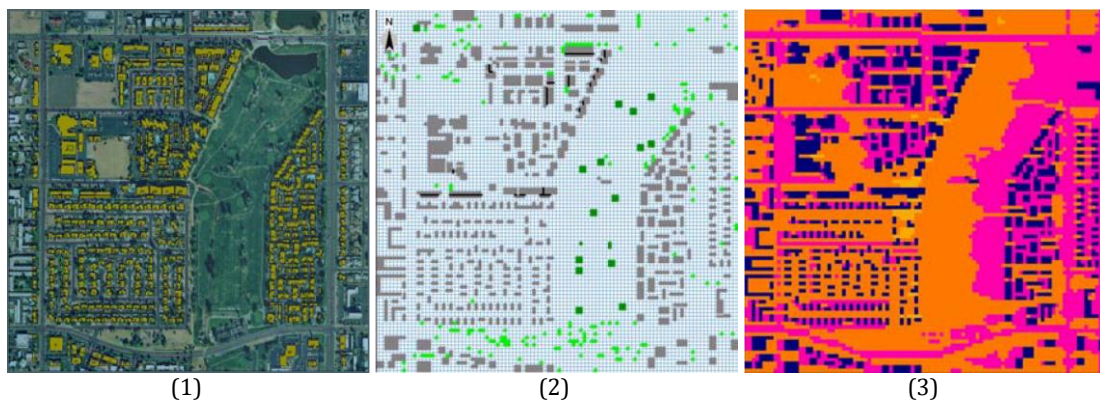
„Излаз“ из симулација модела визуелизује се софтверским алатом LEONARDO.

Leonardo output су мапе и подаци. Мапе имају графички приказ истраживаних параметара са легендом. Корисник бира жељени output (температура, влажност, концентрација CO₂ ...) као и врсту приказа (основа или пресек на задатој висини).

Мапе са припадајућом легендом се у Leonardo-у формирају уношењем вредности добијених ENVI-met симулацијама.

ENVI-met користи сопствени графички интерфејс како би направио layout подручја.

На слици 4.3 графички је приказан метод односно елементи процеса моделирања алатом ENVI-met – мапа подручја (input), ENVI-met layout и Leonardo output.



Слика 4.3: Мапа подручја (input)(1), ENVI-met layout (2) и Leonardo output (3) [3]

5. МОДЕЛ

На основу прегледа литературе показало се да за Београд не постоје истраживања о микроклиматским утицајима зелених кровова и ефеката трансформације равних кровова у вегетационе кровове постојећег грађевинског фонда. Стога је у оквиру дисертације урађено истраживање ефеката примене система зелених кровова на снижење температуре ваздуха и смањење емисије CO₂ у урбаном окружењу, за климатске услове Београда, на изабраним типовима изградње карактеристичним за Београд.

У циљу истраживања утицаја система вегетационих кровова за ниво урбанистичких целина у београдском климатском подручју **развијен је сопствени модел постојећег стања и сопствени модели утицаја вегетационих кровова**, за сваку од четири одабране локације.

5.1 Локације

Претходном анализом грађевинских структура у Београду дошло се до закључка који су то репрезентативни типови грађевинских објеката и урбаних форми. Анализирана је спратност и волуметрија објеката, расподела објеката у простору, међусобне удаљености зграда, ширине саобраћајница, проценат зеленила, заступљеност вертикалног зеленила, учешће слободних површина.

У циљу доношења закључка које ће се локације у Београду изабрати за ово истраживање коришћена је обимна стручна литература, подаци прикупљени на консултацијама у ЈП “Градско стамбено“ и лично стручно искуство аутора. Одабране су типичне градске грађевинске целине како би се добили репрезентативни резултати.

Локације су изабране тако да се резултати могу касније са довољном прецизношћу користити за друге локације исте типологије у Београду, односно моћи ће се применити на друге површине препознавањем исте типологије у другим деловима града.

Након детаљне анализе, за истраживање у овој дисертацији изабране су 4 типичне локације у Београду.

Истражене су четири локације (**BGD01**, **BGD02**, **BGD03** и **BGD04**) у постојећим типичним грађевинским целинама на територији Београда, различитих урбаних структура, спратности, процената зелених, земљаних, бетонских и асфалтних површина.

Локације су репрезенти типичних урбаних форми стамбеног грађевинског фонда Београда:

- стамбени објекти колективног становања ниске спратности (**BGD01**),
- стамбени солитери веће спратности (**BGD02**),
- изградња у густо изграђеном урбаном подручју (**BGD03**),
- породичне куће (**BGD04**).

Прво су одабране локације а потом су дефинисане границе истраживања. Границе истраживања су изабране тако да се у узорку налази већа групација објеката, зеленило, саобраћајнице, слободни простори, односно типични облици изградње и организације слободних простора у Београду. Димензије испитиваног узорка једнаке су за све репрезентативне локације и износе 350x400 метара.

Локације истраживаних урбаних структура приказане су на мапи Београда, слика 5.1.

Истраживање је спроведено на следећим локацијама:

- локација **BGD01** – део територије општине Нови Београд – Блок 70,
- локација **BGD02** – део територије општине Стари Град – Доњи Дорћол, урбанистички блок оивичен улицама Високог Стевана, Цара Уроша, Дунавска и Панчићева,
- локација **BGD03** – део територије општине Врачар, блок оивичен улицама Макензијева, Баба Вишњина, Његошева и Невесињска,
- локација **BGD04** – део територије општине Земун – насеље Галеника.



Слика 5.1: Локације истраживаних урбаних структура на мапи Београда

Сателитски снимци локација са уцртаним границама истраживања приказани су на слици 5.2.



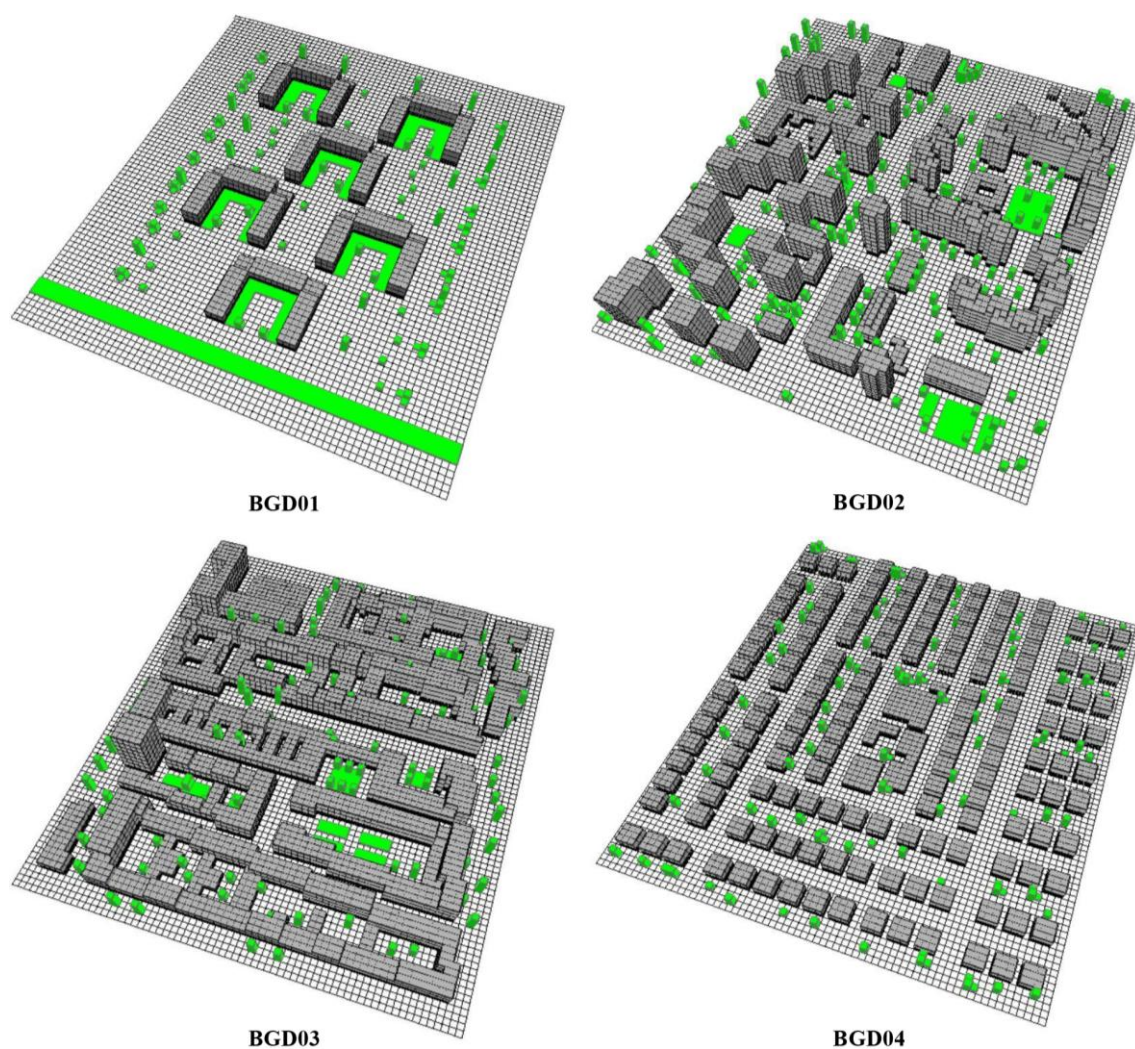
Слика 5.2: Сателитски снимци локација са границама истраживања

5.2 Модел постојећег стања

У првој фази истраживања **осмишљен је и развијен модел који репрезентује постојеће стање за сваку од 4 локације – BGD01, BGD02, BGD03 и BGD04.** Развијени модел постојећег стања назван је **Realcity model (RC).**

3D модели постојећег стања уграђевинских структура приказани су на слици 5.3.

Величина истраживаних локација BGD01, BGD02, BGD03 и BGD04 износи 350x400 метара, са 3-D мрежном поделом од по 5 m, и иста је за све локације. Петометарска мрежна подела омогућила је прецизно моделирање структура. За све 4 локације висине, спратност и габарити објеката, просторни распоред објеката на терену, позиције вертикалног зеленила, тип зеленила, положај саобраћајница, тротоара, игралишта, земљаних и травнатих површина, и други просторни елементи моделирани су на основу реалних услова, односно улазне датотеке ENVI-met модела репрезентују грађевинске и урбане структуре локација са просторним односима какви се налазе у реалности.

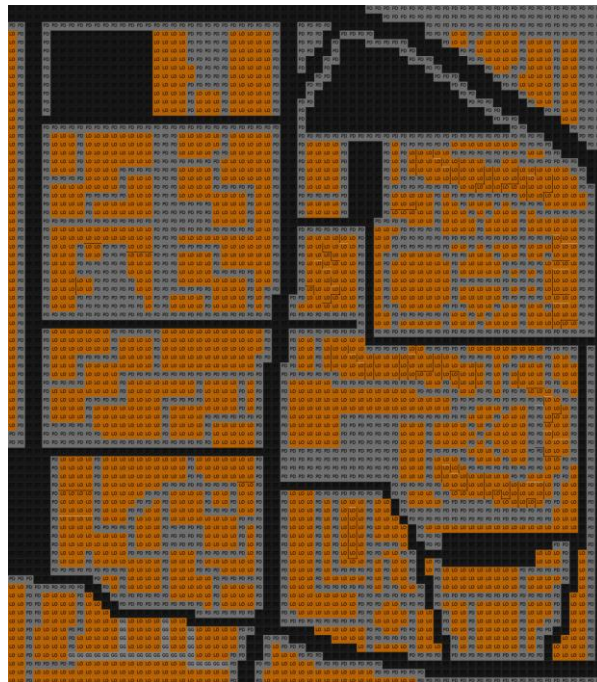


Слика 5.3: Модели постојећег стања – Reality model (RC) урбаних структура BGD01, BGD02, BGD03 и BGD04 (Input – 3D приказ)

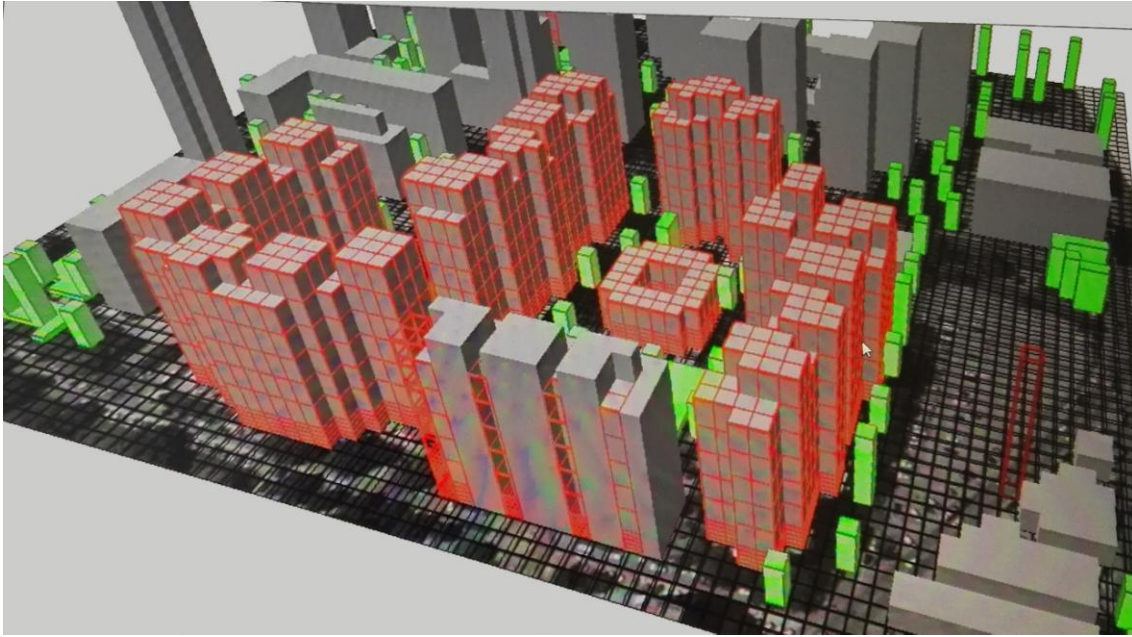
Приказ процеса припреме улазне датотеке једне од локација за ENVI-met (Reality model BGD02), односно моделирање, може се видети на сликама 5.4 до 5.6 које приказују мапу подручја на основу које су позиционирани објекти и зеленило (input buildings and vegetation), модел тла (input soil) и 3D приказ језгра модела (core model).



Слика 5.4: Input file Reality model BGD02 – приказ фазе позиционирања и моделирања објеката и зеленила на основу претходно припремљене и дигитализоване мапе подручја



Слика 5.5: Input file Reality model BGD02 – модел тла (input soil)

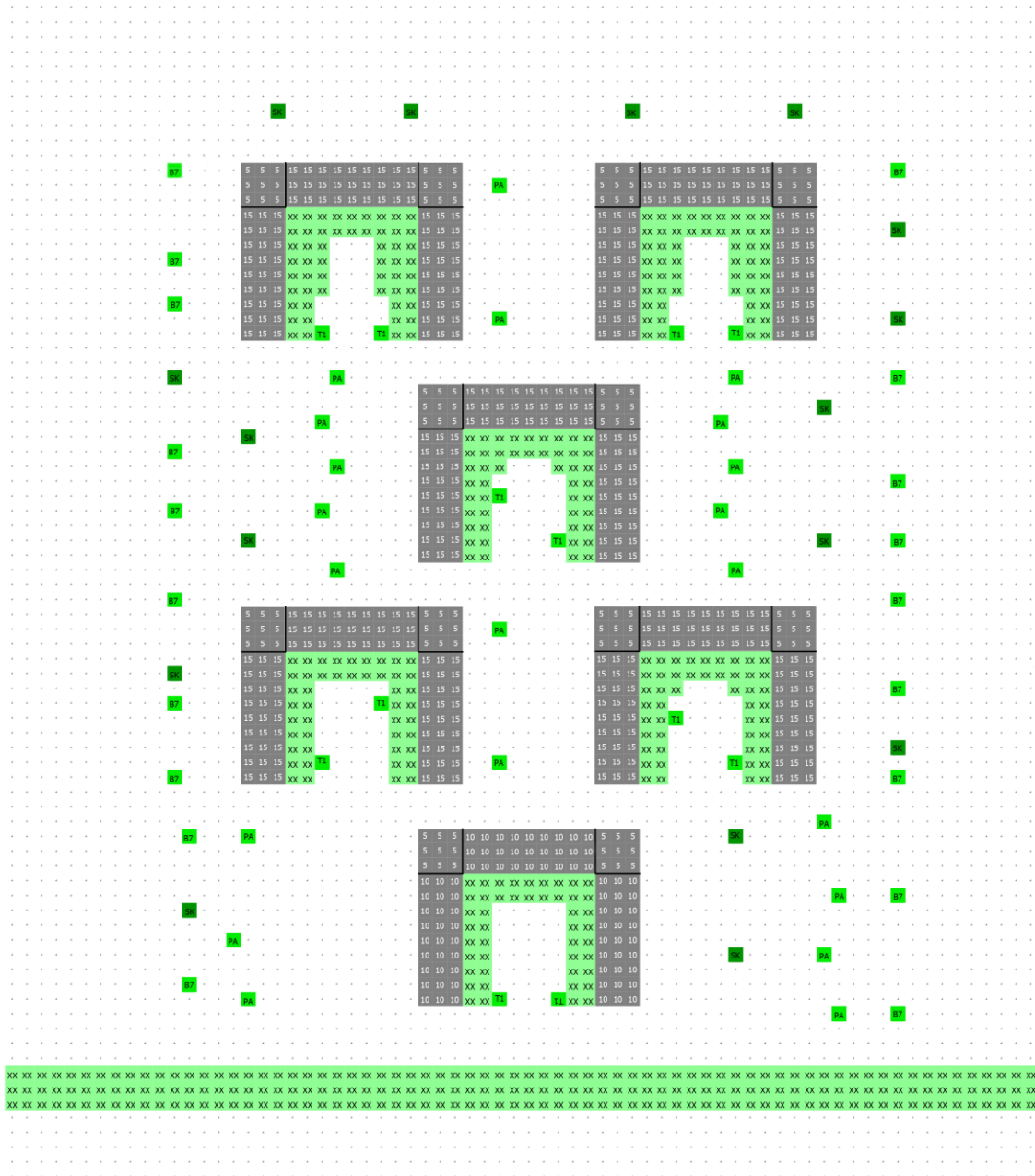


Слика 5.6: Input file Reacity model BGD02 – 3D приказ језгра модела (core model)

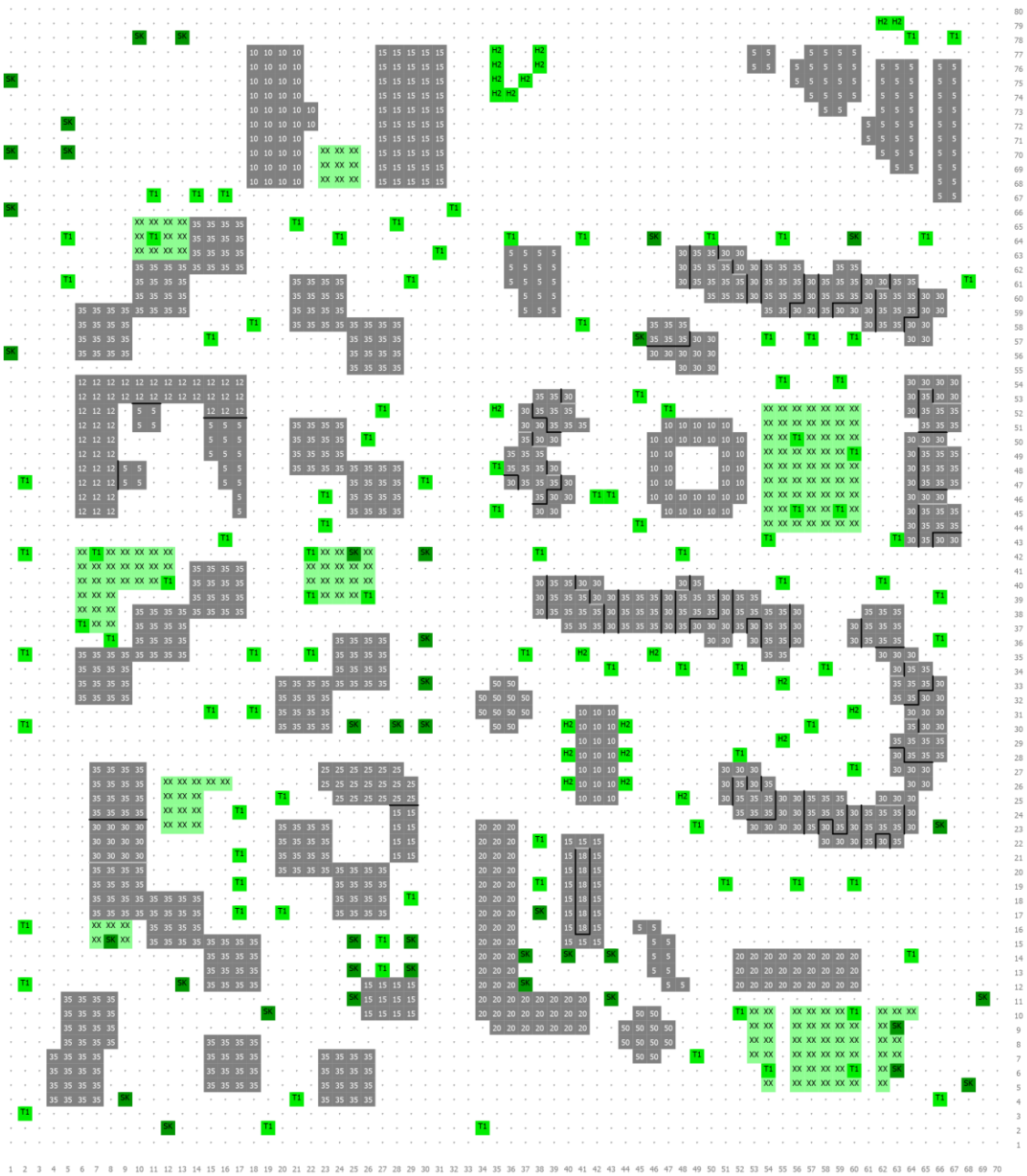
Како би се што боље разумели графички прилози 5.7-5.10, као и њихова детаљност и структура, неопходно је дати опис легенде. Мрежна подела (*grid*) од по 5 m представљена је тачкицама. Сива поља су грађевински објекти. Број у сивом пољу је висина модула објекта. Грађевински објекти састоје се из више модула од по 5 метара. Травнате површине обележене су са XX и GG на зеленој позадини а вертикално зеленило различитих врста на зеленим пољима разних нијанси зелене са ознаком врсте. Вертикално зеленило је графички приказано са позицијом стабла.

Модел тла локације BGD02 приказан је на слици 5.5 где оранж ћелије представљају земљано тло (у слободном простору или испод објеката), црни модули су асфалтне површине а сиве ћелије су површине које у завршном слоју материјализације имају бетон. О термичким својствима ових површина, као и материјализацији објеката, биће речи у посебном потпоглављу.

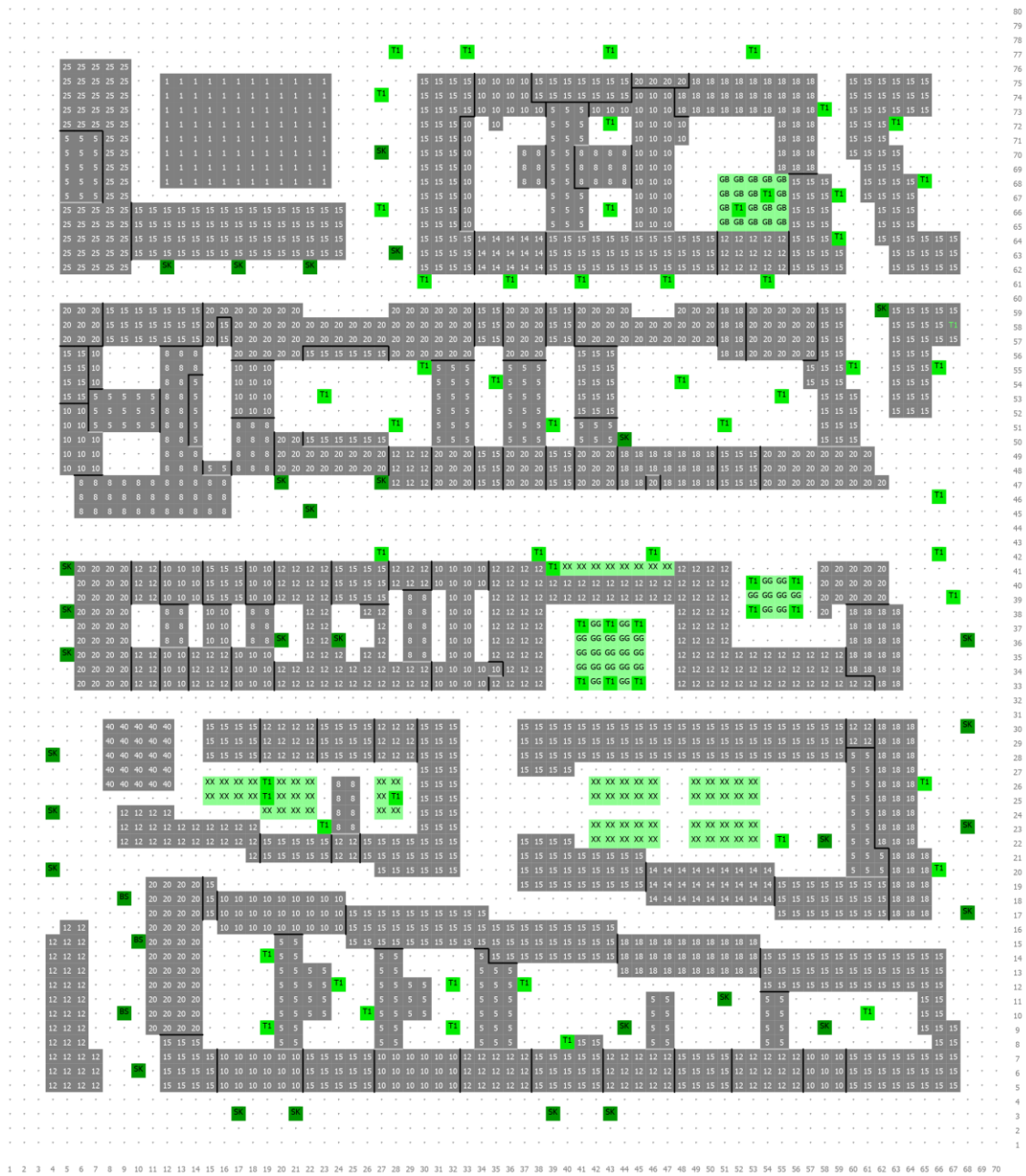
Приказ Reacity modela (RC) структура BGD01, BGD02, BGD03 и BGD04 дат је на сликама 5.7-5.10. Улазне ENVI-met датотеке, односно модели, у потпуности одговарају реалном стању на локацијама.



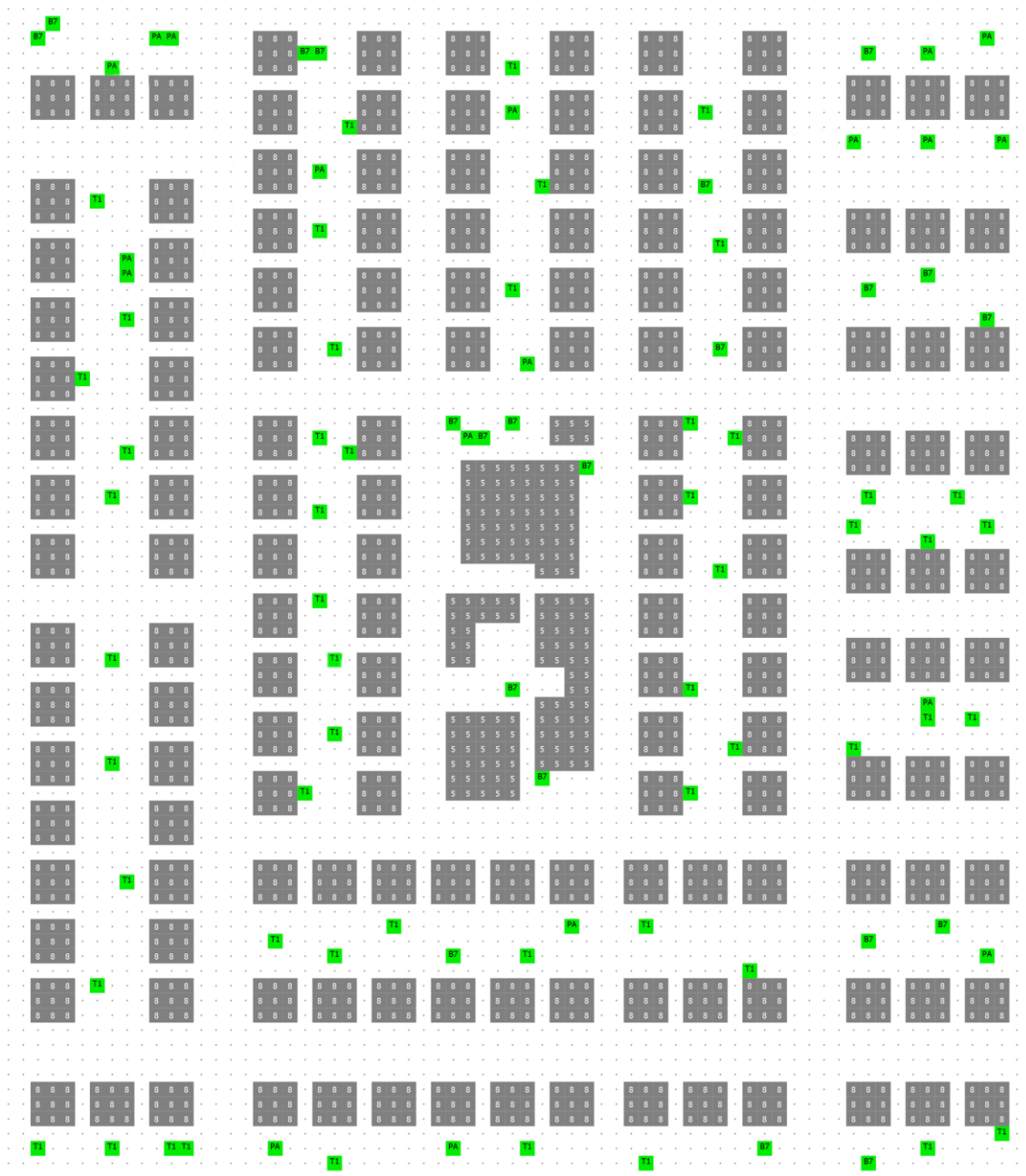
Слика 5.7: Reality model (RC) локације BGD01 (2D приказ)



Слика 5.8: Reality model (RC) локације BGD02 (2D приказ)



Слика 5.9: Realcity model (RC) локације BGD03 (2D приказ)



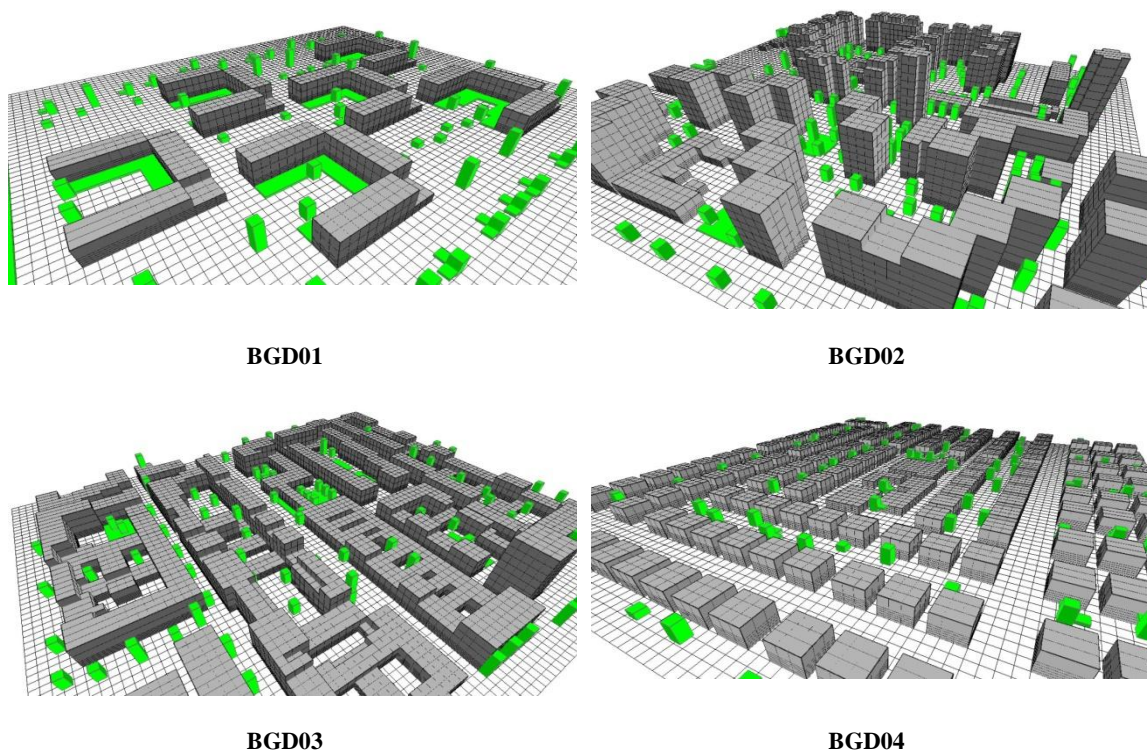
Слика 5.10: Realcity model (RC) локације BGD04 (2D приказ)

Локација BGD01 на Новом Београду има најмању површину под објектима, односно најмањи проценат изграђености, док BGD03 која се налази у централном градском подручју Врачара има густо изграђену структуру са уским улицама и блоковском изградњом на регулацији, али и објектима ниже спратности унутар блокова. Највиши објекти су у BGD02 где су претежно заступљени стамбени солитери, док је BGD04 локација репрезент породичне стамбене градње са предњим и задњим двориштима.

Просечне висине објеката на локацијама износе 15 m (BGD01), 35 m (BGD02), 15 m (BGD03) и 8 m (BGD04).

Врсте вегетације које су заступљене на локацијама су *Populus alba*, *Populus nigra*, *Acer sp*, *Tilia sp*, *Betula pendula* и *Platanus orientalis*.

Слика 5.11 приказује модел постојећег стања Reality model (RC) истраживаних локација BGD01, BGD02, BGD03 и BGD04 у зумираном 3D приказу.



Слика 5.11: Reality model (RC) урбаних структура BGD01, BGD02, BGD03 и BGD04 (зумирани 3D приказ) – ENVI-met layout

5.3 Модели утицаја вегетационих кровова

У овој фази истраживања за сваку од 4 урбанистичке локације (BGD01, BGD02, BGD03, BGD04) осмишљена су и развијена 4 различита модела утицаја вегетационих кровова:

- **Realcity + extensive green roof (RC+EX),**
- **Realcity + intensive green roof (RC+IN),**
- **Future model (F),** и
- **Futureplus model (F+).**

Наведени модели осмишљени су у циљу истраживања утицаја потенцијалних модела реконструкције имплементацијом система вегетационих кровова (екстензивних и интензивних) на постојећим објектима различитих типова изградње на микроклиму ужег градског језгра Београда (RC+EX и RC+IN модели) и комбинованог утицаја употребе екстензивних и интензивних равних кровова и „хладних“ материјала (материјала повољнијих термичких карактеристика) у јавним просторима (F и F+ модели).

Realcity model (RC) је касније коришћен као основни (базни) за поређење са развијеним моделима утицаја вегетационих кровова – **Realcity+extensive green roof (RC+EX), Realcity+intensive green roof (RC+IN), Future model (F) и Futureplus model (F+),** на изабраним типовима изградње карактеристичним за Београд.

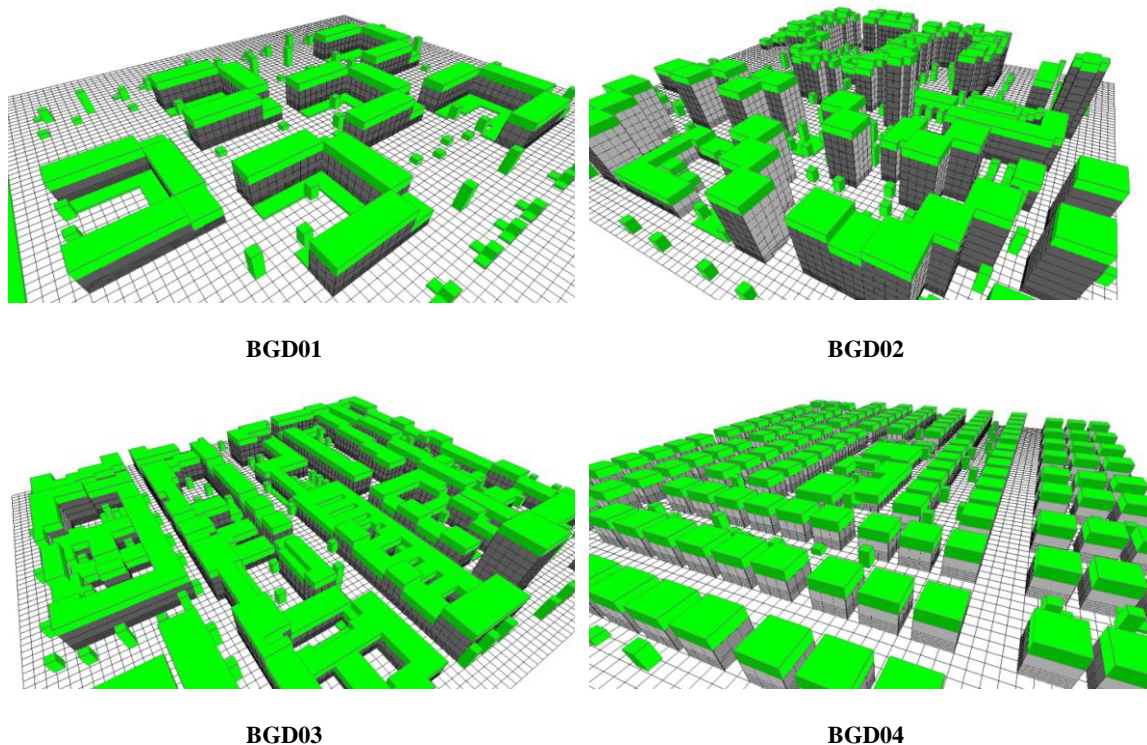
Након што је, као је већ описано, развијен модел који репрезентује постојеће стање за сваку од 4 локације (Realcity model – RC), који има све релевантне карактеристике постојећег стања – положај објеката, спратност, габарит, димензије, положај саобраћајница, тротоара, игралишта, дрвећа, земљаних и затрављених површина и представља реално стање на терену, развијени су **модел утицаја вегетационих кровова**. Модел **Realcity+extensive green roof (RC+EX)** има све исте карактеристике модела постојећег стања на који је додат елемент екстензивних зелених кровова. Код следећег модела **Realcity+intensive green roof (RC+IN)** на базни модел (модел постојећег стања) додати су интензивни зелени кровови. Четврти, **Future model (F),** представља модел са зеленим екстензивним крововима и промењеним карактеристикама

завршног слоја саобраћајница, тротоара и других слободних површина, где су узети хладнији материјали, док је пети модел **Futureplus model (F+)** варијанта са интензивним зеленим крововима и хладним материјалима у јавном простору.

Друге карактеристике објеката, зеленила и простора нису мењане нити вариране и исте су као у Reality (RC) моделу.

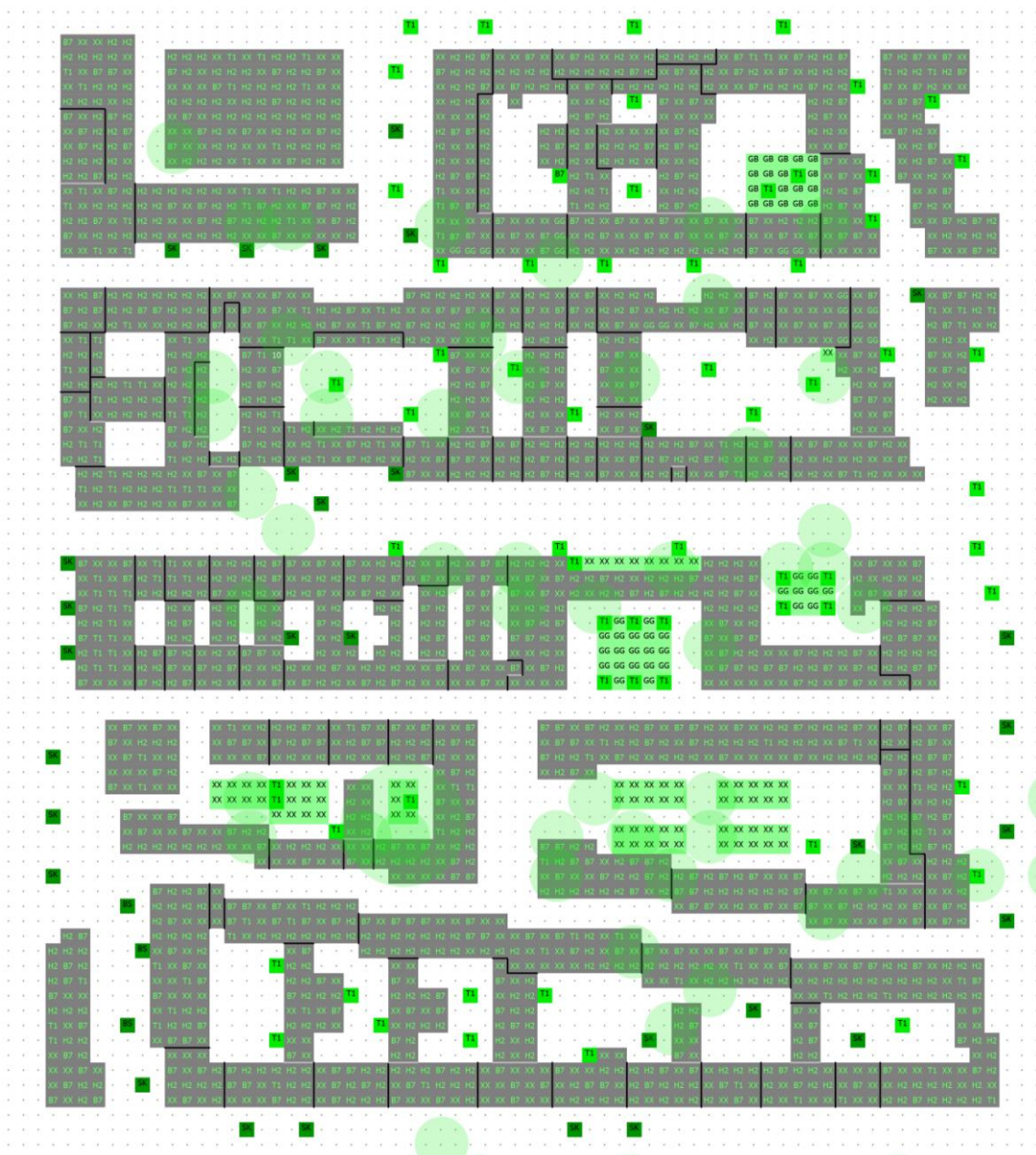
Све карактеристике свих модела приказане су табеларно у наредном потпоглављу.

Слика 5.12 приказује ENVI-met layout модел утицаја екстензивних вегетационих кровова **Reality+extensive green roof (RC+EX)** истраживаних локација BGD01, BGD02, BGD03 и BGD04 у зумираном 3D приказу.



Слика 5.12: Reality model + extensive green roof (RC+EX) урбаних структура BGD01, BGD02, BGD03 и BGD04 (зумирани 3D приказ) – ENVI-met layout

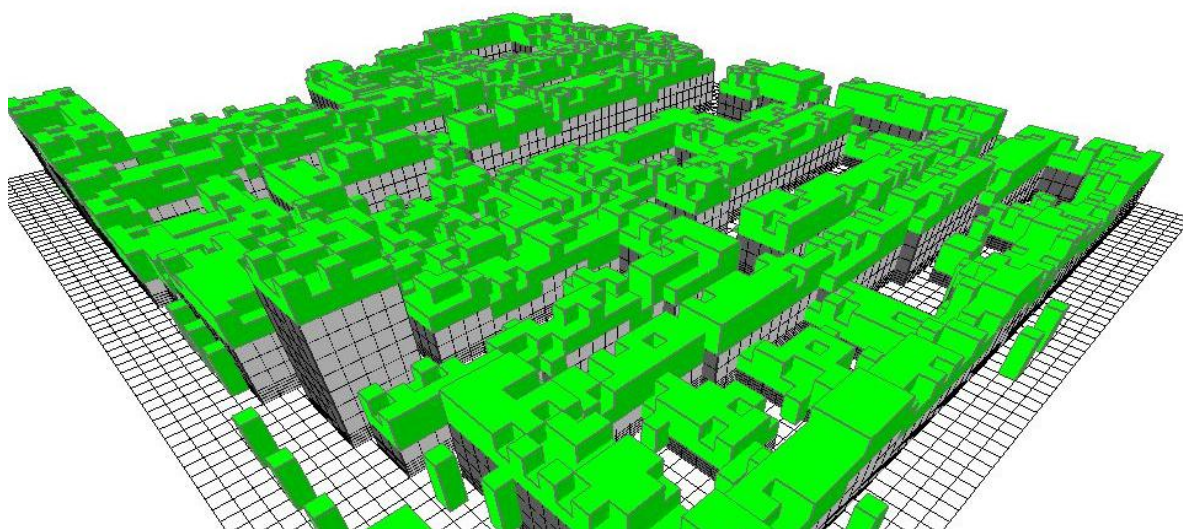
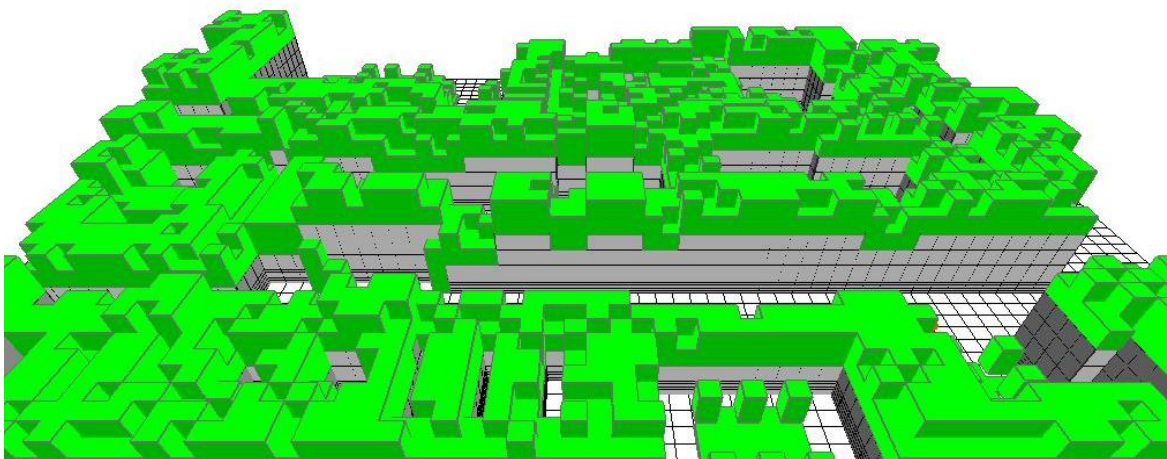
На слици 5.13 дат је 2D приказ улазне датотеке за моделе са имплементираним интензивним зеленим крововима (**RC+IN** и **F+**), на примеру локације **BGD03**. Види се разлика у односу на слику 5.9, која представља **RC** модел, где су у сивим ћелијама исписане висине објеката. На овом моделу у сивим ћелијама су ознаке вегетације (ниске и високе, с обзиром да су интензивним зеленим крововима заступљене обе врсте). Легенда ознака иста је као код модела постојећег стања. Код модела са екстензивним зеленим крововима имплементирана је само трава.



Слика 5.13: Интензивни зелени кровови (RC+IN и F+) локације BGD03 (2D приказ) – ENVI-met layout

На сликама 5.14 и 5.15 дат је 3D приказ улазне датотеке за моделе са имплементираним интензивним зеленим крововима **RC+IN** и **F+**, на примеру локације **BGD03**.

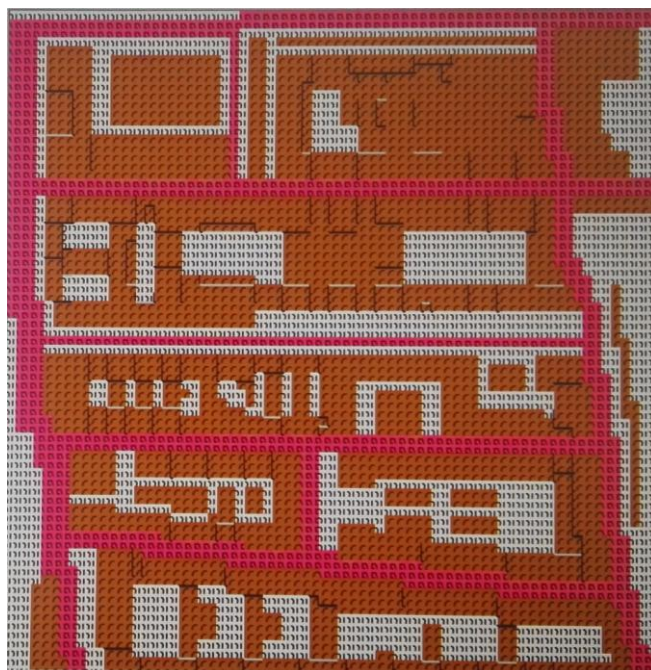
Како је већ детаљно објашњено ENVI-met софтверски алат моделује са довољном поузданошћу. Међутим визуелизација зелених кровова је груба, односно елементи екстензивних и интензивних вегетационих кровова изгледају на графичком приказу 3D модела несразмерни, што је битно напоменути. Овај графички део је предмет унапређења софтверског алата и у најави истраживачке групе са Ruhr-University Bochum је да ће следећа верзија ENVI-met-а бити у визуелном смислу унапређена.



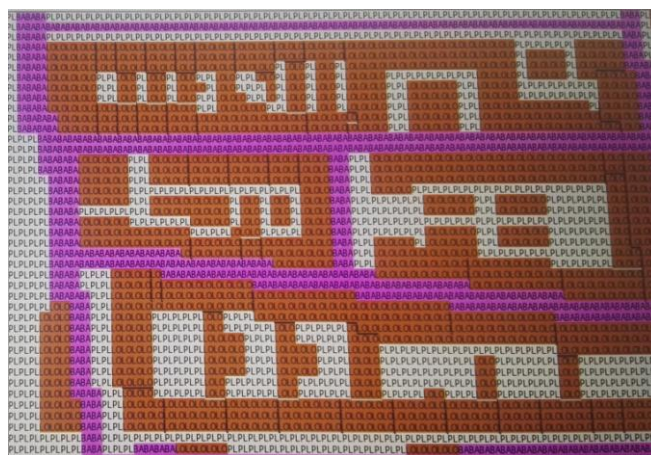
Слике 5.14 и 5.15: Интензивни зелени кровови локације BGD03 (3D приказ) - ENVI-met layout

У циљу истраживања ефеката примене система зелених кровова у комбинацији са употребом „хладних“ материјала у јавним градским просторима, што хипотетички даје побољшане резултате у умањењу ефекта урбаног тоplotног острва, у моделима утицаја Future model (F) и Futureplus model (F+) варирани су материјали завршне обраде слободних површина.

Промена материјала завршне обраде у односу на моделе RC, RC+EX и RC+IN, на примеру локације BGD03, приказана је на сликама 5.16 (Future model) и 5.17 (Future+ model).



Слика 5.16: Материјали завршне обраде слободних простора урбане структуре BGD03 – Future model



Слика 5.17: Материјали завршне обраде слободних простора урбане структуре BGD03 – Future+ model

5.4 Иницијални параметри и карактеристике модела

Иницијални улазни параметри (*input parameters*) припремљени су и унешени и формиране су конфигурацијске датотеке (*configuration files*) за све моделе и све локације.

Београд је лоциран у подручју са умерено континенталном климом, са топлим летима, средњом летњом температуром од 21 до 25 °C, са 30 до 55 тропских дана и до 26 тропских ноћи, са топлотним таласима у јулу и августу [112]. У овом истраживању коришћени су статистички подаци и параметри типичног летњег дана у Београду²⁷.

У табели 5.1 дат је преглед иницијалних параметара коришћених у симулацијама (брзина и правац ветра, температура, влажност ваздуха), као и географска локација Београда. Иницијални параметри дати у табели 5.1 идентични су за све локације и све моделе.

Табела 5.1: Иницијални параметри моделирања ENVI-met-ом

| | |
|---|--|
| <u>Датум и трајање симулације</u> Датум за који је рађена симулација: 23.06. Почетак симулације: 05:00:00 h Трајање симулације: 24 сата | <u>Иницијални метеоролошки услови/параметри</u> Брзина ветра (m/s): 1.9 Правац ветра: 150 ° (SSE) За све моделе подешена је позиција Севера |
| <u>Температура T</u> Иницијална температура (°C) 16.8 min (°C) 16.8 (05:00 h), max 30.4 (16:00 h) | <u>Влажност q</u> Релативна влажност (%) min 34% (16:00 h), max 62% (21:00 h), просечна 50% |
| <u>Географски подаци за Београд</u> Надморска висина 132 m Географска ширина 44°48'N Географска дужина 20°28'E | <u>Димензије моделованог подручја</u> Димензије простора модела: 350x400 m <u>Карактеристике мрежне поделе</u> x-Grids:70, y-Grids: 80, z-Grids: 30 Величина/димензије мрежне ћелије (у метрима): dx=5.0, dy=5.0, dz=5.0 „Гнездо“ модела око језгра модела: 3 ћелије |

²⁷ http://www.hidmet.gov.rs/latin/meteorologija/klimatologija_godisnjaci.php (приступљено 22.02.2017.)

У табели 5.2 дат је прегледни приказ елемената и термичких карактеристика елемената модела Reality model (RC), Reality+extensive green roof (RC+EX), Reality+intensive green roof (RC+IN), Future model (F) и Futureplus model (F+) (алbedo и емисивност кровног покривача, застора саобраћајница и тротоара, земље и траве).

Вредности албеда коришћене у ENVI-met-у дате су у истраживањима [54][55][42]. У свим калкулацијама емисивност материјала је узета са једнаком вредношћу од 0.9, као што је коришћено у [54][55][56].

Табела 5.2: Карактеристике елемената модела

| | Кров | Саобраћајнице | Тротоари | Земља и трава | Вегетација |
|---|--|--|-------------------------------------|--|---|
| Reality (RC) | Црни (битумен) алbedo 0.20 | <i>Асфалт, црни</i> алbedo 0.20 | <i>Бетон, тамни</i> алbedo 0.20 | <i>Земља</i> (за све моделе) алbedo 0.00 | Постојећа вегетација са терена, за све моделе <i>(Populus alba, Populus nigra, Acer sp, Tilia sp, Betula pendula, Platanus orientalis)</i> |
| Reality + extensive green roof (RC+EX) | Екстензивни зелени алbedo 0.20 | <i>Асфалт, црни</i> алbedo 0.20 | <i>Бетон, тамни</i> алbedo 0.20 | <i>Трава</i> (за све моделе) алbedo 0.20 | |
| Reality + intensive green roof (RC+IN) | Интензивни зелени алbedo 0.20 | <i>Асфалт, црни</i> алbedo 0.20 | <i>Бетон, тамни</i> алbedo 0.20 | | |
| Future (F) | Екстензивни зелени алbedo 0.20 | <i>Асфалтни пут са црвеним премазом</i> алbedo 0.50 | <i>Бетон, светли</i> алbedo 0.80 | | |
| Futureplus (F+) | Интензивни зелени алbedo 0.20 | <i>Базалтни светао камен</i> алbedo 0.80 | <i>Бетон, светли</i> алbedo 0.80 | | |

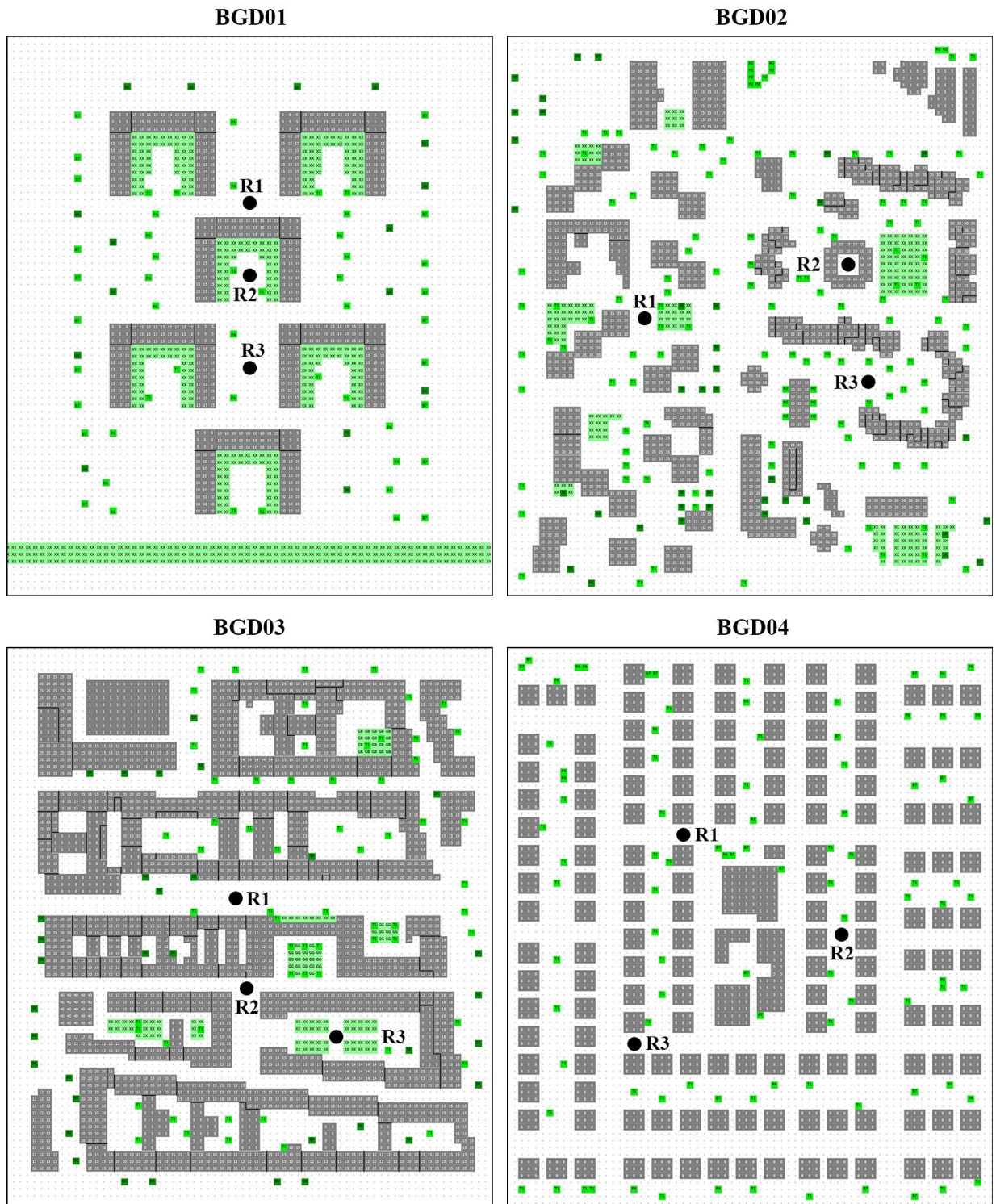
Зелене кровне конструкције анализиране на локацијама BGD01, BGD02, BGD03 и BGD04 разматране су као додатни изолациони слој.

Вегетација која се користи као елемент зеленог крова је аутохтоне сорте.

Склопови термичких омотача, односно конструкције свих грађевинских објеката, моделирани су са једнаким зидовима. Из ENVI-met базе одабран је склоп који одговара структури термичког омотача типичној за Београд.

Код моделирања просторних елемената као што су игралишта, тргови, паркиралишта, односно одабира одговарајућег материјала завршне обраде појединих површина које нису саобраћајнице и тротоари, сваки конкретан случај материјализован је у складу са реалним стањем на терену, чиме је модел постојећег стања у потпуности верно приказан.

За све 4 локације уведене су контролне тачке. По три контролне тачке (R1, R2 и R3) позициониране су на свакој локацији, како је приказано на слици 5.18. Контролне тачке приказују резултате симулација и коришћене су за проверу просека и тенденција снижења температуре ваздуха (ублажавања урбаног топлотног острва) за истраживане моделе утицаја вегетационих кровова RC+EX, RC+IN, F и F+.



Слика 5.18: Урбане структуре са позицијама контролних тачака – 2D приказ - ENVI-met layout

5.5 Параметри модела

У оквиру дисертације истражени су ефекти примене система зелених кровова у климатским условима Београда на:

- **снижење температуре ваздуха у урбаном окружењу,**
- **смањење емисије CO₂ у урбаном окружењу.**

Снижење температуре ваздуха у урбаном окружењу

У овом, првом, сегменту истраживања тестиране су следеће постављене хипотезе:

- да се инсталацијом система зелених кровова (екстензивних и интензивних) за климатско подручје Београда може локално снизити температура спољног ваздуха, односно ублажити ефекат урбаног тоplotног острва у урбаним целинама,
- да се ефекат инсталације система зелених кровова на снижење температуре осећа у спољном окружењу код свих типова изградње, с тим што се значајније побољшање на нивоу пешака очекује у подручјима са објектима ниже висине, спратности приземље или приземље и један спрат (магацини, радионице, школе, вртићи, подземне гараже...) него у подручјима са зградама високе спратности,
- да се на нивоу крова (последњег спрата у објектима на којима су имплементирани вегетациони кровови) очекује исти или приближно исти ниво снижења температуре за све типове изградње и спратности,
- да се употребом „хладних“ материјала у материјализацији јавних површина (тротоари, саобраћајнице, игралишта, тргови...) снижава температура ваздуха у спољној средини,
- да вертикални температурни профил показује значајнији утицај „хладних“ материјала на нивоу пешака него на већим висинама.

Истражене су све локације односно сви типови изградње (**BGD01, BGD02, BGD03 и BGD04**) и сви модели утицаја зелених кровова (**RC+EX, RC+IN, F и F+**).

Снижење температуре ваздуха истражено је на нивоу пешака (1.5 метар) и на нивоу кровних равни на којима се постављају вегетациони кровови.

Смањење емисије CO₂ у урбаном окружењу

У овом, другом, сегменту истраживања тестирана је хипотеза да се употребом вегетационих кровова снижава концентрација CO₂ у ваздуху у урбаним срединама.

На бази спроведених истраживања и развијених модела инсталације система зелених кровова утврђено је колико се у урбаним срединама снижава концентрација CO₂ у ваздуху применом екстензивних и интензивних зелених кровова (модел **RC+EX**, **RC+IN**), у густо изграђеној централној зони Београда (локација **BGD03**).

Промене у концентрацији CO₂ истражене су на висинама 1.5 m (ниво пешака), 7.5 m и 17.5 m.

Резултати истраживања, објашњења и дискусија приказани су у наредном поглављу.

6. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

У овом делу дисертације приказани су резултати симулација модела, урађена је њихова детаљна анализа и резултати су дискутовани.

Урађена је верификација резултата снижења температуре ваздуха у урбаном окружењу и смањења емисије CO₂ поређењем резултата сопствених модела са резултатима модела и експеримената других аутора.

6.1 Истраживање ефеката примене система зелених кровова на снижење температуре ваздуха у урбаном окружењу за климатске услове Београда

Истраживање ефеката примене система вегетационих кровова у климатским условима Београда на снижење температуре ваздуха урађено је за све локације односно све типове изградње (BGD01, BGD02, BGD03 и BGD04) и све постављене моделе утицаја зелених кровова (RC+EX, RC+IN, F и F+).

Поред квантификације последица примене система вегетационих кровова, екстензивних и интензивних, на постојећим објектима са равним крововима на спољну температуру ваздуха, истражен је и комбиновани утицај примене вегетационих кровова и замене постојећих материјала завршних слојева јавних простора (саобраћајнице, тротоари, тргови, игралишта, паркиралишта) материјалима повољнијих термичких карактеристика.

Снижење температуре ваздуха истражено је на нивоу пешака (1.5 метар) и на нивоу кровних равни на којима се постављају вегетациони кровови (2.5 метра изнад просечне висине кровних равни на свакој локацији).

Графички прикази (слике 6.1-6.4) приказују спољашњу температуру ваздуха у урбаном окружењу на нивоу пешака (1.5 m) код модела постојећег стања (RC) и потенцијалне температурне промене код модела утицаја вегетационих кровова (RC+EX, RC+IN, F, F+) за све испитиване локације – BGD01, BGD02, BGD03 и BGD04. Приказани су резултати за 7:00, 13:00, 19:00 сати, типичног летњег дана у Београду (23.06.) и 01:00 сат наредне ноћи (24.06.). С обзиром да су симулације рађене за 24 сата, са почетком у 5:00 сати ујутру, приказ резултата дат је у природном следу, како су симулације и рађене, од изласка Сунца.

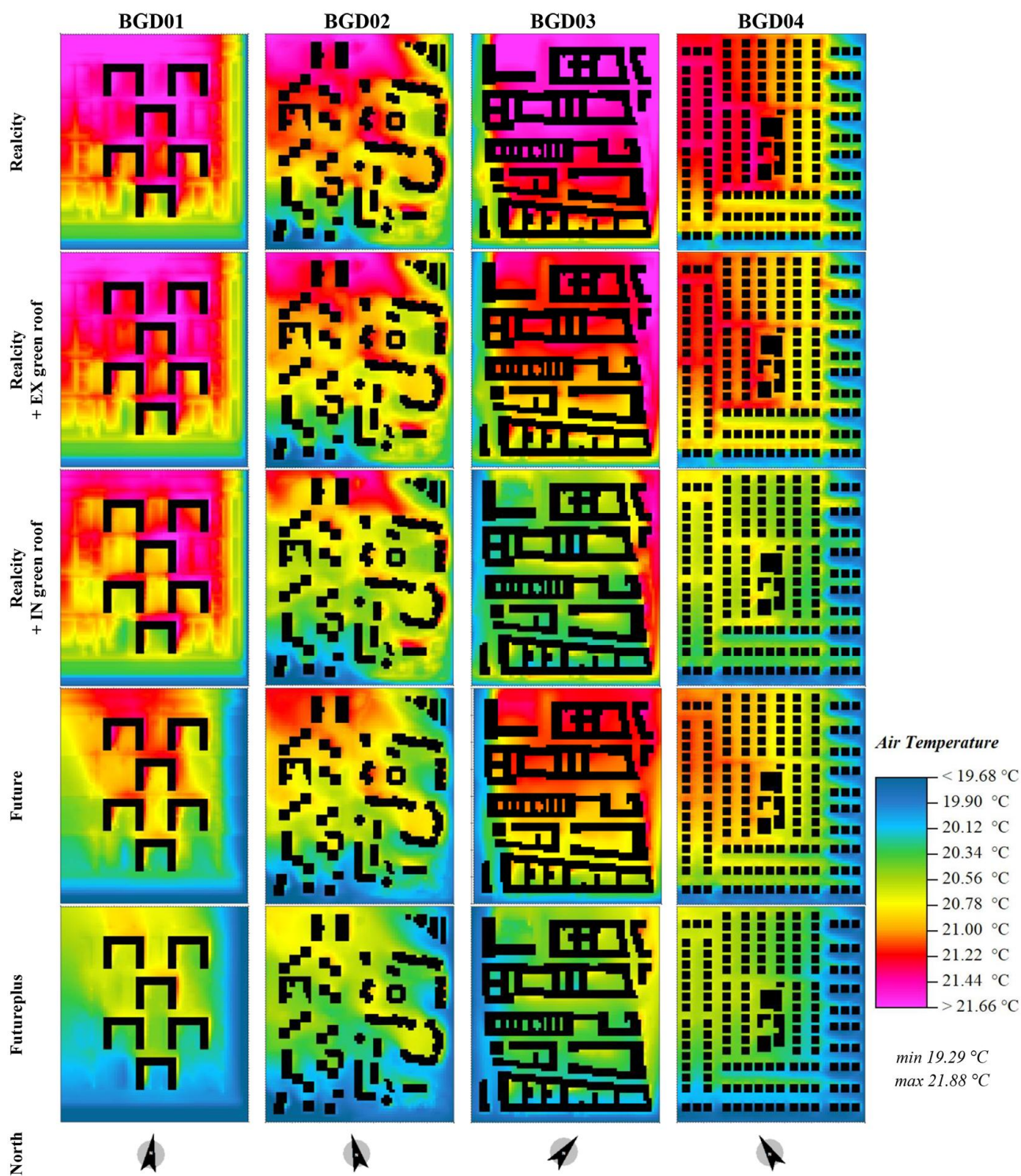
Све графичке приказе за један временски пресек прати иста легенда, како би се температурне промене јасно и недвосмислено виделе.

За типични летњи дан у Београду, посматрајући мапе и пратећи температурну легенду јасно се види тренд снижења спољашње температуре ваздуха код испитиваних модела утицаја, редом, за сва истраживана времена.

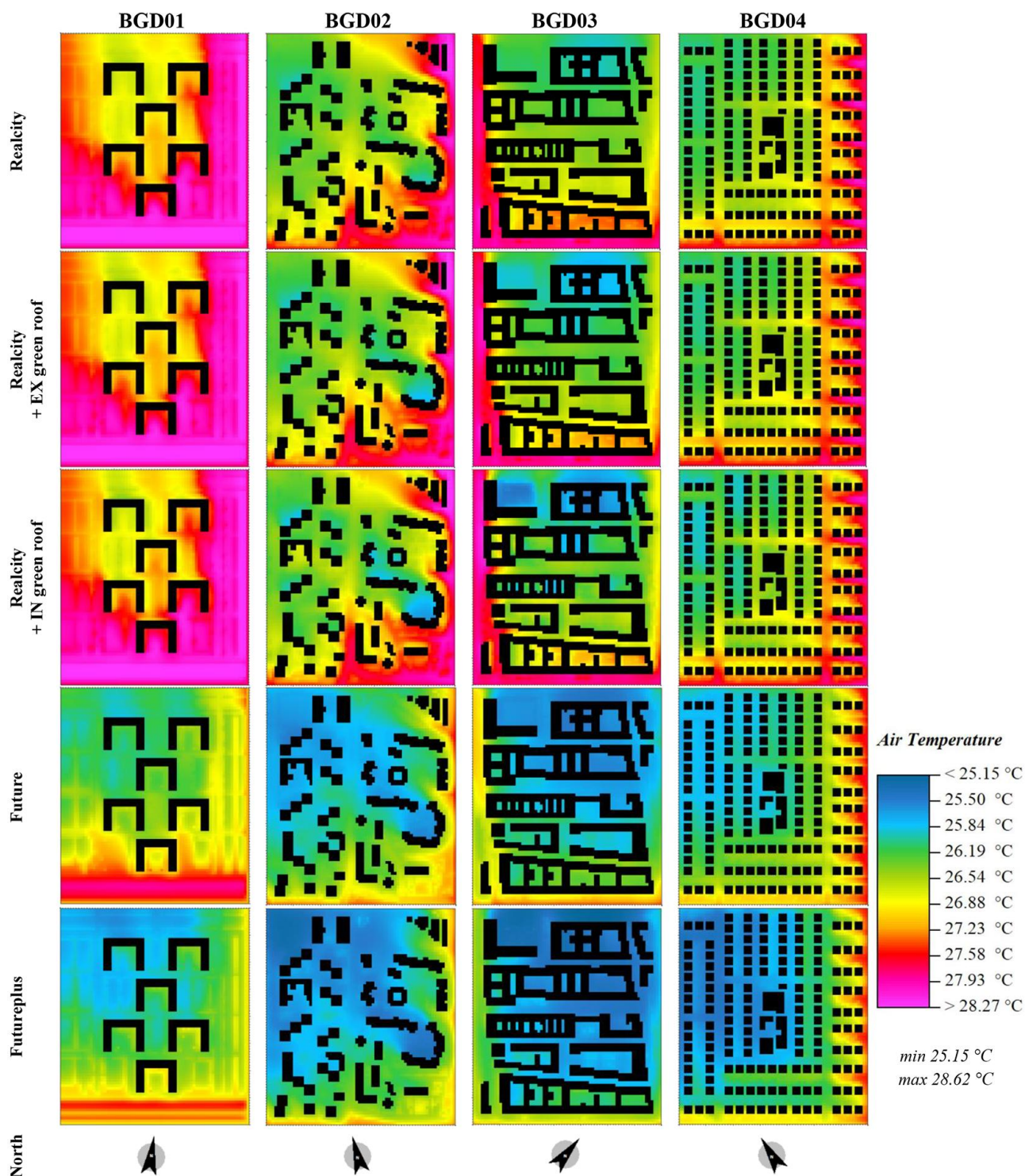
Поредећи моделе RC+EX и RC+IN у односу на RC (базни модел), за све испитиване временске пресеке, 7:00 h, 13:00 h, 19:00 h и 01:00 h, типичног летњег дана у Београду на умањење ефекта урбаног топлотног острва већи утицај имају интензивни зелени кровови од система екстензивних вегетационих кровова.

За ниво пешака (1.5 m) микроклиматски услови додатно се побољшавају употребом материјала високих вредности албеда. Комбинација екстензивних вегетационих кровова и хладних материјала завршне обраде површина јавних простора (F модел) даје боље резултате у снижењу температуре спољне средине од употребе само екстензивних вегетационих кровова (RC+EX модел). Такође, употреба интензивних вегетационих кровова и хладних материјала (F+ модел), даје боље резултате од модела RC+IN, где се примењују само интензивни зелени кровови.

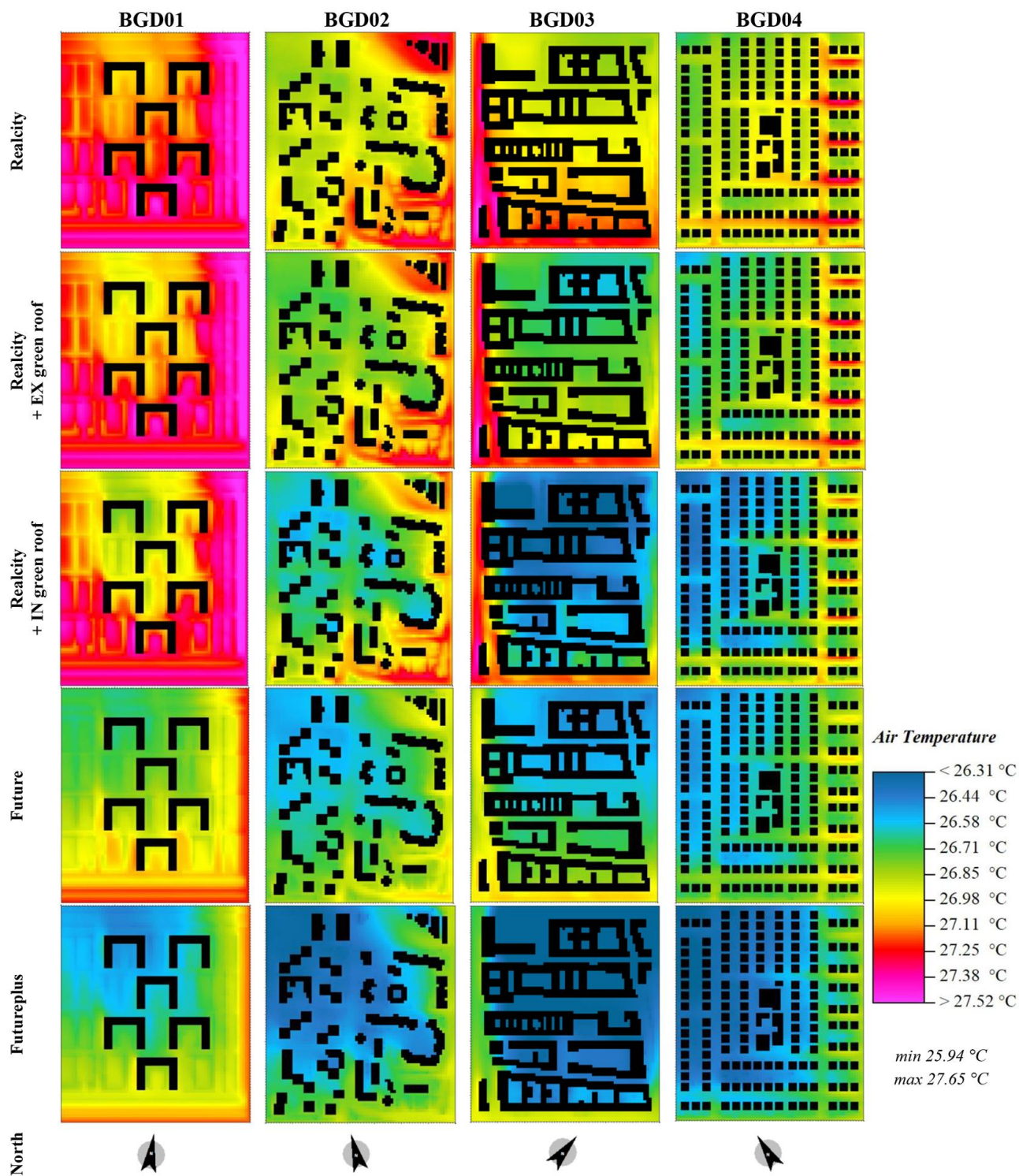
Најбољи резултати у умањењу ефекта урбаног топлотног острва остварују се варијантним решењем које подразумева инсталацију система интензивних зелених кровова и примену материјала високих вредности албеда у јавним просторима (F+), за све испитиване локације – BGD01, BGD02, BGD03 и BGD04.



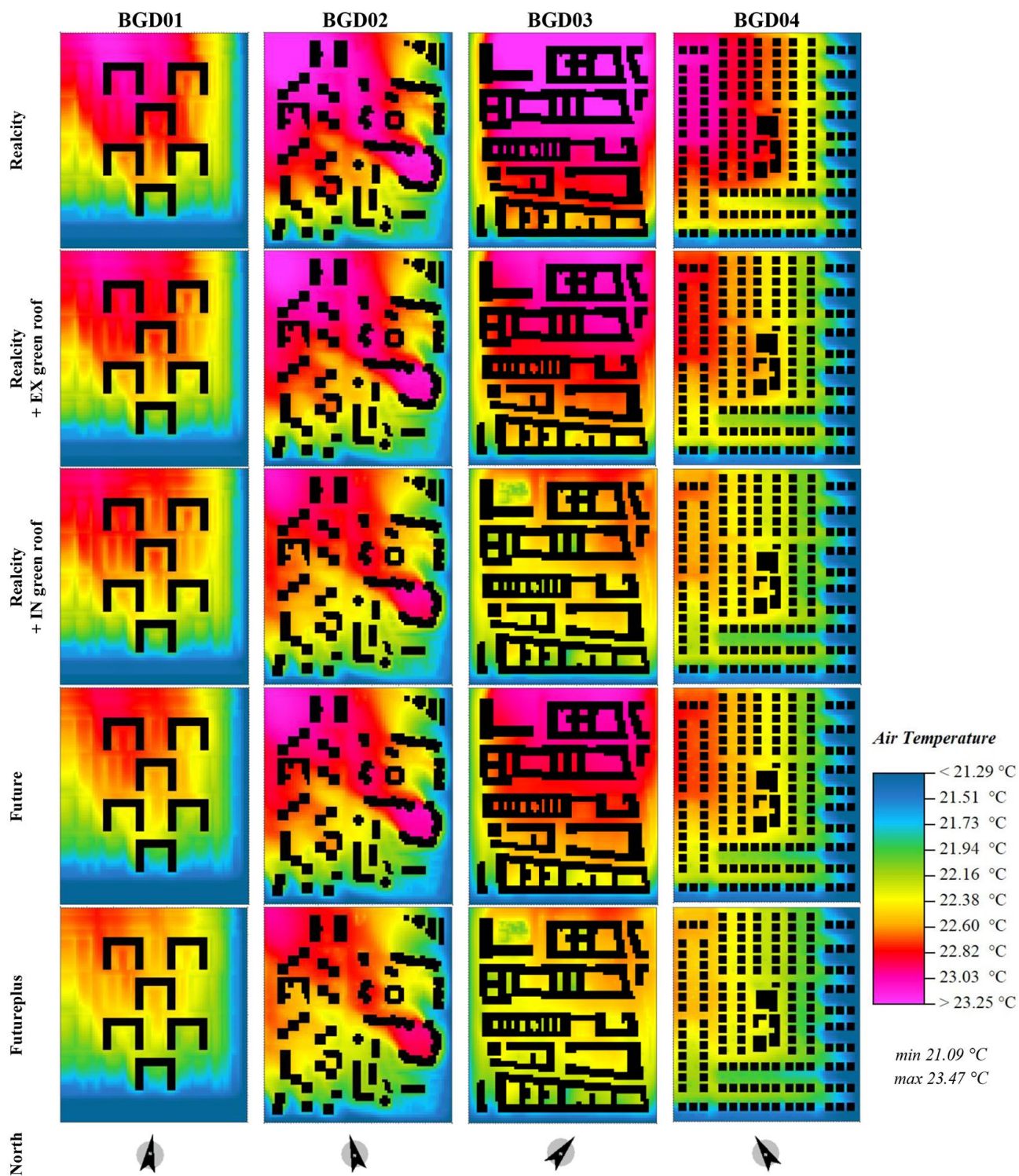
Слика 6.1: Температура ваздуха на нивоу пешака (1.5 m) код модела постојећег стања (RC) и потенцијалне температурне промене код модела утицаја вегетационих кровова (RC+EX, RC+IN, F, F+) за локације BGD01, BGD02, BGD03 и BGD04, 23.06. у 07:00 сати



Слика 6.2: Температура ваздуха на нивоу пешака (1.5 m) код модела постојећег стања (RC) и потенцијалне температурне промене код модела утицаја вегетационих кровова (RC+EX, RC+IN, F, F+) за локације BGD01, BGD02, BGD03 и BGD04, 23.06. у 13:00 сати



Слика 6.3: Температура ваздуха на нивоу пешака (1.5 m) код модела постојећег стања (RC) и потенцијалне температурне промене код модела утицаја вегетационих кровова (RC+EX, RC+IN, F, F+) за локације BGD01, BGD02, BGD03 и BGD04, 23.06. у 19:00 сати



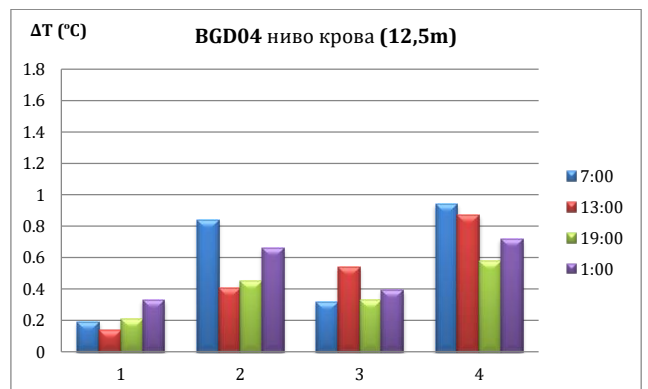
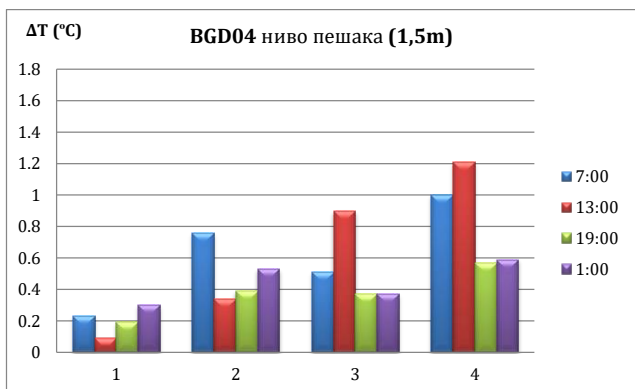
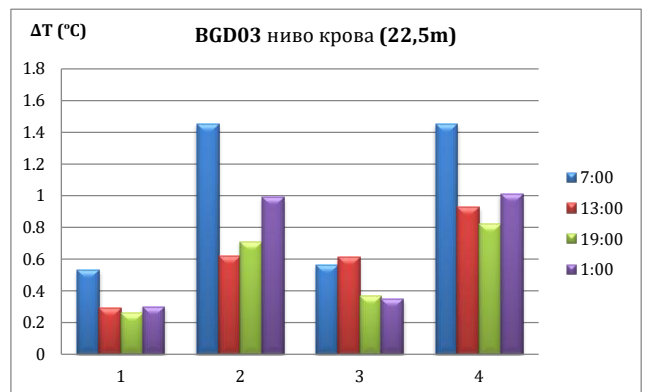
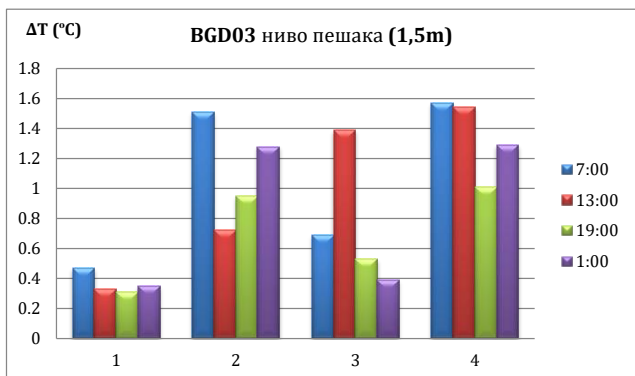
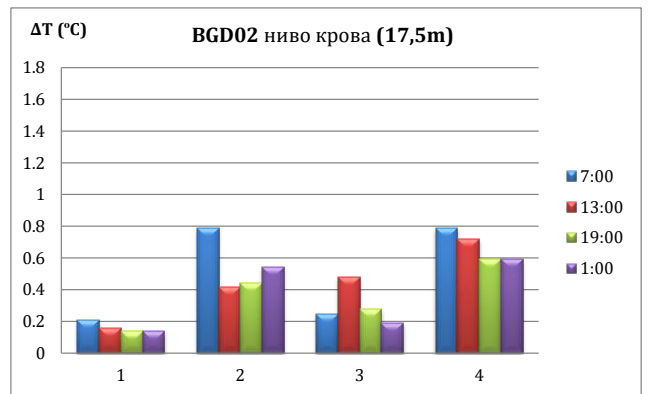
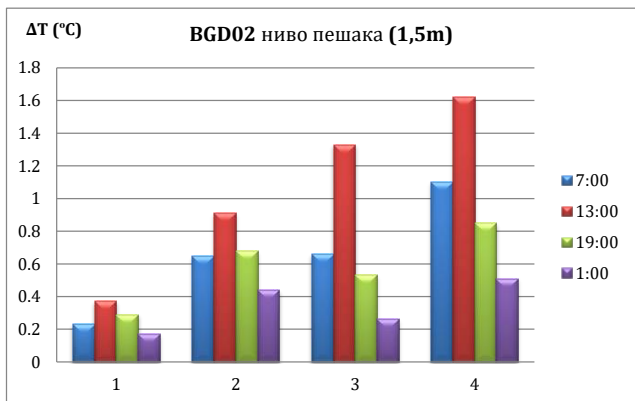
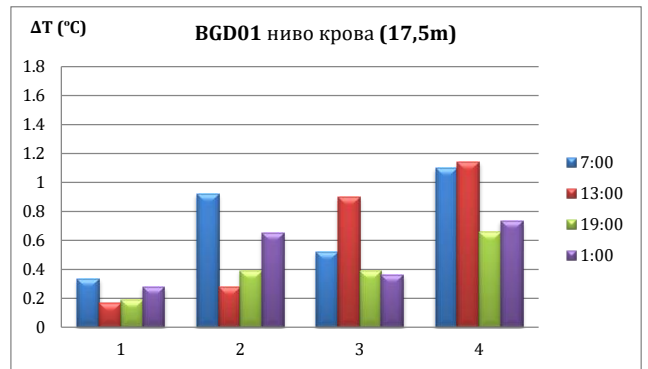
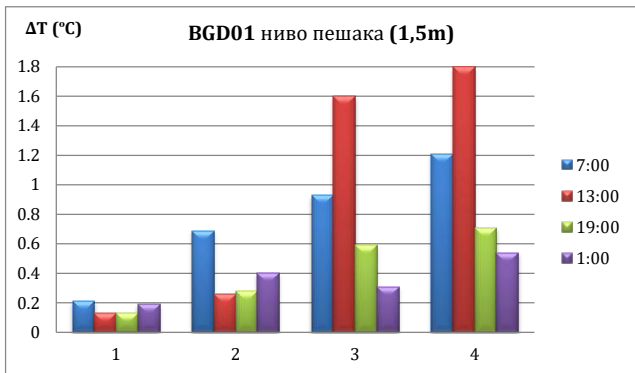
Слика 6.4: Температура ваздуха на нивоу пешака (1.5 m) код модела постојећег стања (RC) и потенцијалне температурне промене код модела утицаја вегетационих кровова (RC+EX, RC+IN, F, F+) за локације BGD01, BGD02, BGD03 и BGD04, 24.06. у 01:00 sat

У табели 6.1 и на слици 6.5 приказане су максималне разлике у температури за ниво пешака и ниво крова за 4 модела утицаја вегетационих кровова (Realcity+extensive green roof, Realcity+intensive green roof, Future и Futureplus) у односу на модел постојећег стања (Realcity) на изабране 4 локације за типичан летњи дан у Београду у 7:00, 13:00, 19:00 сати и 1:00 сат.

Табела 6.1: Поређење максималних разлика у температури ΔT ($^{\circ}\text{C}$) за ниво пешака и ниво кровних равни за 4 модела утицаја вегетационих кровова (RC+EX, RC+IN, F, F+) у односу на модел постојећег стања (RC) на 4 локације (BGD01, BGD02, BGD03, BGD04) у Београду за 23.06. у 07:00, 13:00, 19:00 сати и 24.06. у 1:00 сат

| 23.06. (h) | Realcity+EX green roof поређење са Realcity (1 на x-оси на графиконима) | Realcity+IN green roof поређење са Realcity (2 на x-оси на графиконима) | Future поређење са Realcity (3 на x-оси на графиконима) | Futureplus поређење са Realcity (4 на x-оси на графиконима) |
|---|--|--|--|--|
| BGD01 | | | | |
| h=1.5 m, ΔT ($^{\circ}\text{C}$) | | | | |
| 07:00 | - 0.21 | - 0.69 | - 0.93 | - 1.21 |
| 13:00 | - 0.13 | - 0.26 | - 1.60 | - 1.80 |
| 19:00 | - 0.13 | - 0.28 | - 0.59 | - 0.71 |
| 01:00 | - 0.19 | - 0.40 | - 0.31 | - 0.54 |
| h=17.5 m, ΔT ($^{\circ}\text{C}$) | | | | |
| 07:00 | - 0.33 | - 0.92 | - 0.52 | - 1.10 |
| 13:00 | - 0.17 | - 0.28 | - 0.90 | - 1.14 |
| 19:00 | - 0.19 | - 0.39 | - 0.39 | - 0.66 |
| 01:00 | - 0.28 | - 0.65 | - 0.36 | - 0.73 |
| BGD02 | | | | |
| h=1.5 m, ΔT ($^{\circ}\text{C}$) | | | | |
| 07:00 | - 0.23 | - 0.65 | - 0.66 | - 1.10 |
| 13:00 | - 0.37 | - 0.91 | - 1.33 | - 1.62 |
| 19:00 | - 0.29 | - 0.68 | - 0.53 | - 0.85 |
| 01:00 | - 0.17 | - 0.44 | - 0.26 | - 0.51 |
| h=37.5 m, ΔT ($^{\circ}\text{C}$) | | | | |
| 07:00 | - 0.21 | - 0.79 | - 0.25 | - 0.79 |
| 13:00 | - 0.16 | - 0.42 | - 0.48 | - 0.72 |
| 19:00 | - 0.14 | - 0.44 | - 0.28 | - 0.59 |
| 01:00 | - 0.14 | - 0.54 | - 0.19 | - 0.59 |

| 23.06. (h) | Reality+EX green roof поређење са Reality (1 на x-оси на графиконима) | Reality+IN green roof поређење са Reality (2 на x-оси на графиконима) | Future поређење са Reality (3 на x-оси на графиконима) | Futureplus поређење са Reality (4 на x-оси на графиконима) |
|-------------------|--|--|---|---|
| BGD03 | | | | |
| h=1.5 m, ΔT (°C) | | | | |
| 07:00 | - 0.47 | - 1.51 | - 0.69 | - 1.57 |
| 13:00 | - 0.33 | - 0.72 | - 1.39 | - 1.54 |
| 19:00 | - 0.31 | - 0.95 | - 0.53 | - 1.01 |
| 01:00 | - 0.35 | - 1.28 | - 0.39 | - 1.29 |
| h=22.5 m, ΔT (°C) | | | | |
| 07:00 | - 0.53 | - 1.45 | - 0.56 | - 1.45 |
| 13:00 | - 0.29 | - 0.62 | - 0.61 | - 0.93 |
| 19:00 | - 0.26 | - 0.71 | - 0.37 | - 0.82 |
| 01:00 | - 0.30 | - 0.99 | - 0.35 | - 1.01 |
| BGD04 | | | | |
| h=1.5 m, ΔT (°C) | | | | |
| 07:00 | - 0.23 | - 0.76 | - 0.51 | - 1.00 |
| 13:00 | - 0.09 | - 0.34 | - 0.90 | - 1.21 |
| 19:00 | - 0.19 | - 0.39 | - 0.37 | - 0.57 |
| 01:00 | - 0.30 | - 0.53 | - 0.37 | - 0.59 |
| h=12.5 m, ΔT (°C) | | | | |
| 07:00 | - 0.19 | - 0.84 | - 0.32 | - 0.94 |
| 13:00 | - 0.14 | - 0.41 | - 0.54 | - 0.87 |
| 19:00 | - 0.21 | - 0.45 | - 0.33 | - 0.58 |
| 01:00 | - 0.33 | - 0.66 | - 0.39 | - 0.72 |



Легенда: x-axis: (1) **Realcity+EX green roof** компарација са **Realcity**, (2) **Realcity+IN green roof** компарација са **Realcity**, (3) **Future** компарација са **Realcity**, (4) **Futureplus** компарација са **Realcity**

Слика 6.5: Максималне разлике у температури ΔT ($^{\circ}\text{C}$) за ниво пешака и ниво кровних равни за 4 модела утицаја вегетационих кровова (RC+EX, RC+IN, F, F+) у односу на модел постојећег стања (RC) на 4 локације (BGD01, BGD02, BGD03, BGD04) у Београду за 23.06. у 7:00 h, 13:00 h, 19:00 h и 24.06. у 1:00 h

Коришћење вегетационих кровова, како екстензивних тако и интензивних, доноси, посматрано у односу на конвенционалне кровове, снижење вредности спољне температуре ваздуха која се више осећа у непосредној близини кровних равни на којима се налази вегетација него на нивоу пешачких равни. То је логична последица близине биљног материјала који кроз процес евапотранспирације хлади ваздух. Исто закључују и [113][74][50][114][48].

Истраживање је показало да употреба интензивних зелених кровова (модел урбане реконструкције RC+IN) доприноси већем снижењу спољне температуре (на нивоу пешака и на нивоу кровних равни) у односу на употребу екстензивних зелених кровова (модел реконструкције RC+EX), што је последица веће биомасе биљака интензивног вегетационог крова, односно интензивне вегетације, од биомасе траве и ниског растиња који чине екстензивни вегетациони кров.

Када посматрамо максималне разлике у температури резултати симулација модела показују да употреба система екстензивних зелених кровова у урбаним целинама снижава температуру спољашњег ваздуха до 0.47°C на нивоу пешака и 0.53°C на нивоу крова, интензивни зелени кровови потенцијално снижавају температуру на нивоу пешака до 1.51°C и 1.45°C на нивоу крова. Увођењем хладних материјала у јавне просторе и употребом екстензивних зелених кровова температура се снижава до 1.60°C на нивоу пешака и 0.90°C на нивоу крова, док се употребом хладних материјала и системом интензивних зелених кровова у Београду температура спољашњег ваздуха потенцијално снижава до 1.80°C на нивоу пешака и до 1.45°C на нивоу крова.

Употреба материјала са вишим албедом за површине у јавним просторима у комбинацији са зеленим крововима (F и F+ модели) даје значајније резултате на снижење температуре ваздуха у спољној средини од саме употребе зелених кровова. Резултати снижења температуре ваздуха ових варијантних решења су израженији на нивоу пешака (1.5 m) него на нивоу кровних равни. То се дешава јер хладни материјали завршних слојева слободних површина (саобраћајнице, тротоари, паркиралишта, игралишта ...) имају смањену апсорпцију сунчевог зрачења а у непосредној су близини пешачких равни, односно нивоа пешака.

Резултати моделирања показују да повећање албеда тротоара, путева и игралишта помаже у снижењу њихове површинске температуре и смањењу количине топлоте која се ослобађа у атмосферу. Алbedo простора се може повећати тако што се за слободне просторе користи одговарајућа површинска облога као што је предложено у моделима F и F+. Ефекти на нивоу пешака су израженији јер је површина са високим албедом ближа пешацима, што повећава урбани топлотни комфор. Потенцијал материјала високих вредности албеда је важан за оптимизацију санације урбаних зона и ублажавање урбаног топлотног острва у градовима што закључују и [43][54][55][56].

Резултати показују да се за климатско подручје Београда може снизити температура спољног ваздуха за све типове изградње инсталацијом зелених кровова, с тим што се значајније побољшање на нивоу пешака осећа у деловима са урбаним структурама ниже спратности, односно насељима са породичним кућама, као и у деловима са објектима ниже висине, спратности приземље или приземље и један спрат (магацини, радионице, школе, вртићи, подземне гараже) него у подручјима са зградама високе спратности. То је због тога што су код објеката ниже висине (мање спратности) кровне равни на којима је засађена вегетација, која кроз природни процес хлађења спушта температуру ваздуха у својој близини, ближе нивоу пешака. До истог закључка, за друге климатске услове долазе и аутори [51][115][48][51][10].

У густо насељеним и изграђеним зонама, као што је BGD03, кровне равни су практично једине површине које могу бити озелењене и то је једини начин и шанса да се поједини делови града озелене. Инсталацијом зелених кровова на

постојећим објектима повећава се удео зелених површина по локацијама – 11% (BGD01), 21% (BGD02), 43% (BGD03) и 28% (BGD04), што је значајно како за снижење температуре ваздуха у амбијенту, тако и за смањење емисије CO₂.

Резултати показују да се утицај зелених кровова за климатско подручје Београда осећа током целог дана, с тим што је најмањи утицај у ноћним сатима а највиши у јутарњим, док се утицај употребе материјала са вишим и високим вредностима албеда највише осећа у периоду када је сунчево зрачење најинтензивније на хоризонталну површину.

Утицај промене материјала у јавним просторима значајнији је код објеката ниске спратности, зато што се код уских улица и објеката високе спратности јавља сенка од објеката која спречава директну сунчеву радијацију, а тиме и директно загревање површина.

Снижење температуре спољашњег ваздуха инсталацијом зелених кровова, како екстензивних тако и интензивних, у нивоу кровних равни, односно нивоу последњег и претпоследњег спрата у објектима, за све типове изградње у климатским условима Београда је слична, што указује на важност употребе зелених кровова за све типове изградње и спратности.

Контролне тачке

Како је описано раније и приказано на слици 5.18, за све 4 локације током постављања модела постојећег стања и модела утицаја вегетационих кровова уведене су по три контролне тачке (R1, R2 и R3) за температуру ваздуха спољне средине, на нивоу пешака.

У табелама 6.2-6.5 и на сликама 6.6 и 6.7 приказане су вредности температуре ваздуха у °C за ниво пешака (1.5 m) за контролне тачке R1, R2 и R3, за 4 модела утицаја вегетационих кровова (Realcity+extensive green roof, Realcity+intensive green roof, Future и Futureplus) и модел постојећег стања (Realcity). Дат је приказ резултата за све 4 изабране локације (BGD01, BGD02, BGD03, BGD04) за типичан летњи дан у Београду у 7:00 h, 13:00 h, 19:00 h и 01:00 h.

У истима табелама, 6.2-6.5, дати су и просеци снижења температуре ваздуха за ниво пешака (1.5 m) који су рачунати на начин да су резултати из три контролне тачке за свако појединачно време, модел и локацију упросечени.

Овом методом добијени су просечни резултати појединачних варијантних решења имплантације модела утицаја вегетационих кровова на снижење температуре ваздуха на нивоу пешака. Метод увођења контролних тачака и упросечавања резултата примењен је као код студије за Торонто [43][44].

Ради лакшег праћења резултата контролних тачака, резултати из табела 6.2-6.5 приказани су графички на сликама 6.6 и 6.7.

Табела 6.2: Вредности температуре ваздуха у °C за ниво пешака (1.5 m) за контролне тачке R1, R2 и R3, и просечне вредности, за модел постојећег стања (Realcity) и 4 модела утицаја вегетационих кровова (Realcity+extensive green roof, Realcity+intensive green roof, Future и Futureplus) на локацији **BGD01** у Београду за 23.06. у 7:00, 13:00 и 19:00 сати и 24.06. у 01:00 сат

| BGD01 | | | | | |
|---|-----------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| модел | време (h) | R1 температура (°C) | R2 температура (°C) | R3 температура (°C) | ПРОСЕК температура (°C) |
| Realcity R | 07:00 | 21.714 | 21.375 | 21.258 | 21.45 |
| | 13:00 | 26.694 | 27.148 | 27.114 | 26.99 |
| | 19:00 | 27.121 | 27.223 | 27.192 | 27.18 |
| | 01:00 | 22.979 | 22.832 | 22.637 | 22.82 |
| Realcity+extensive green roof R+EX | 07:00 | 21.645 | 21.251 | 21.135 | 21.34 |
| | 13:00 | 26.685 | 27.211 | 27.116 | 27.00 |
| | 19:00 | 27.020 | 27.144 | 27.102 | 27.09 |
| | 01:00 | 22.817 | 22.746 | 22.545 | 22.70 |
| Realcity+intensive green roof R+IN | 07:00 | 21.548 | 20.963 | 20.889 | 21.13 |
| | 13:00 | 26.738 | 27.281 | 27.123 | 27.05 |
| | 19:00 | 26.910 | 27.021 | 26.978 | 26.97 |
| | 01:00 | 22.656 | 22.706 | 22.468 | 22.61 |
| Future F | 07:00 | 21.185 | 20.857 | 20.833 | 20.96 |
| | 13:00 | 26.069 | 26.263 | 26.471 | 26.27 |
| | 19:00 | 26.749 | 26.826 | 26.871 | 26.82 |
| | 01:00 | 22.691 | 22.589 | 22.434 | 22.57 |
| Futureplus F+ | 07:00 | 20.853 | 20.522 | 20.468 | 20.61 |
| | 13:00 | 25.897 | 26.024 | 26.058 | 25.59 |
| | 19:00 | 26.553 | 26.640 | 26.660 | 26.62 |
| | 01:00 | 22.510 | 22.533 | 22.336 | 22.46 |

Табела 6.3: Вредности температуре ваздуха у °C за ниво пешака (1.5 m) за контролне тачке R1, R2 и R3, и просечне вредности, за модел постојећег стања (Realcity) и 4 модела утицаја вегетационих кровова (Realcity+extensive green roof, Realcity+intensive green roof, Future и Futureplus) на локацији **BGD02** у Београду за 23.06. у 7:00, 13:00 и 19:00 сати и 24.06. у 01:00 сат

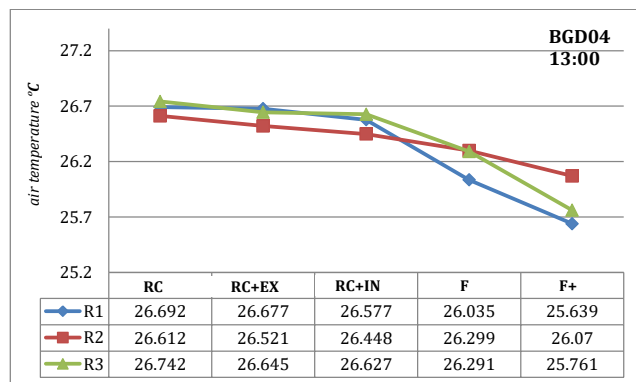
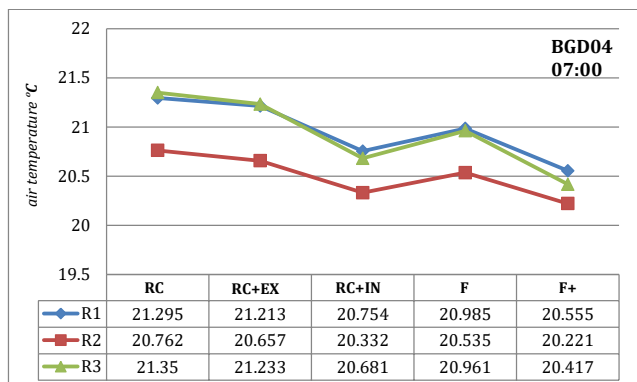
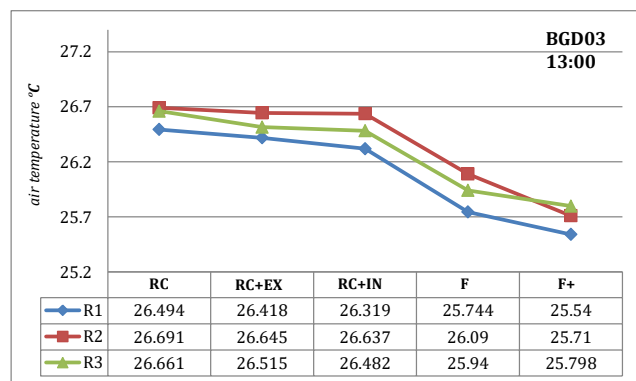
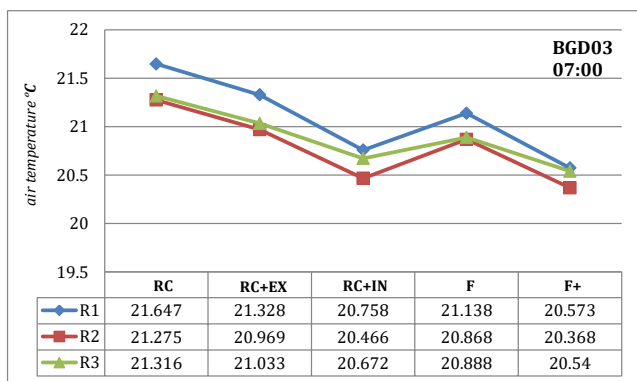
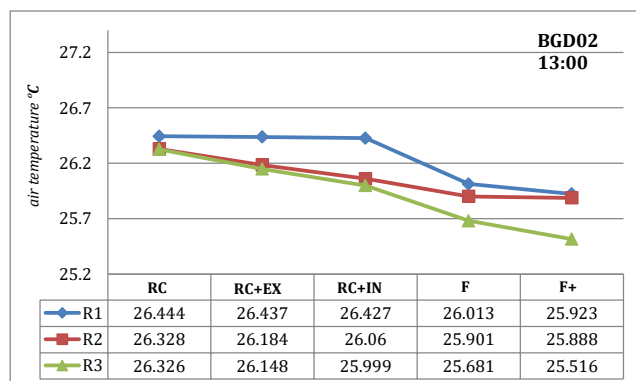
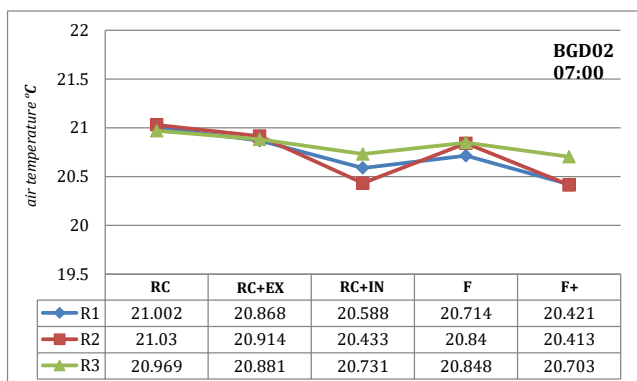
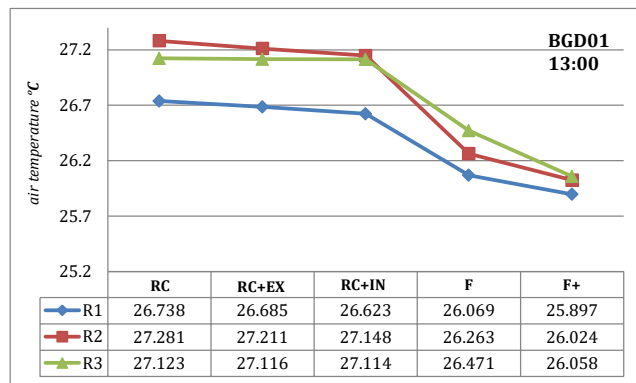
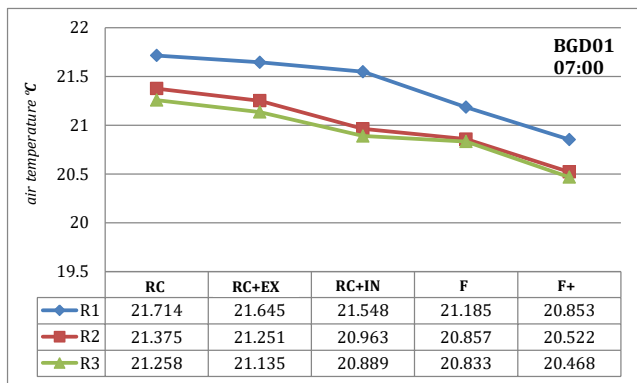
| BGD02 | | | | | |
|---|-----------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| модел | време (h) | R1 температура (°C) | R2 температура (°C) | R3 температура (°C) | ПРОСЕК температура (°C) |
| Realcity R | 07:00 | 21.002 | 21.030 | 20.969 | 21.00 |
| | 13:00 | 26.427 | 26.328 | 26.326 | 26.36 |
| | 19:00 | 26.861 | 26.879 | 26.866 | 26.87 |
| | 01:00 | 22.714 | 22.856 | 23.173 | 22.91 |
| Realcity+extensive green roof R+EX | 07:00 | 20.868 | 20.914 | 20.881 | 20.89 |
| | 13:00 | 26.437 | 26.184 | 26.148 | 26.26 |
| | 19:00 | 26.768 | 26.762 | 26.780 | 26.77 |
| | 01:00 | 22.628 | 22.758 | 23.129 | 22.84 |
| Realcity+intensive green roof R+IN | 07:00 | 20.588 | 20.433 | 20.731 | 20.58 |
| | 13:00 | 26.444 | 26.060 | 25.999 | 26.17 |
| | 19:00 | 26.620 | 26.493 | 26.650 | 26.59 |
| | 01:00 | 22.482 | 22.443 | 23.031 | 22.65 |
| Future F | 07:00 | 20.714 | 20.840 | 20.848 | 20.80 |
| | 13:00 | 26.013 | 25.901 | 25.681 | 25.87 |
| | 19:00 | 26.593 | 26.643 | 26.626 | 26.62 |
| | 01:00 | 22.539 | 22.702 | 23.056 | 22.77 |
| Futureplus F+ | 07:00 | 20.421 | 20.413 | 20.703 | 20.51 |
| | 13:00 | 25.923 | 25.908 | 25.516 | 25.78 |
| | 19:00 | 26.418 | 26.393 | 26.488 | 26.43 |
| | 01:00 | 22.396 | 22.424 | 22.961 | 22.59 |

Табела 6.4: Вредности температуре ваздуха у °C за ниво пешака (1.5 m) за контролне тачке R1, R2 и R3, и просечне вредности, за модел постојећег стања (Realcity) и 4 модела утицаја вегетационих кровова (Realcity+extensive green roof, Realcity+intensive green roof, Future и Futureplus) на локацији **BGD03** у Београду за 23.06. у 7:00, 13:00 и 19:00 сати и 24.06. у 01:00 сат

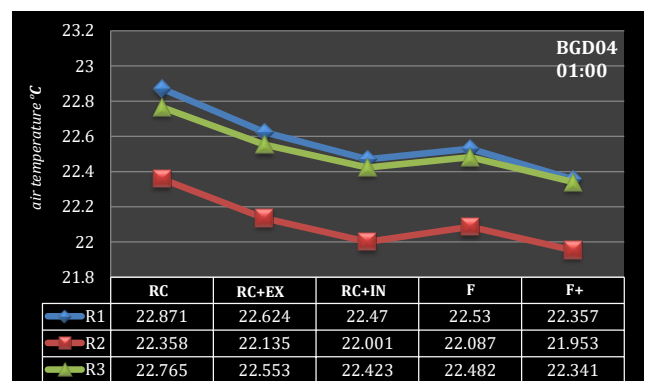
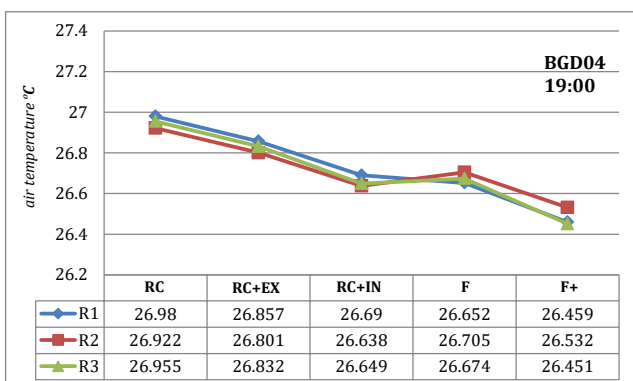
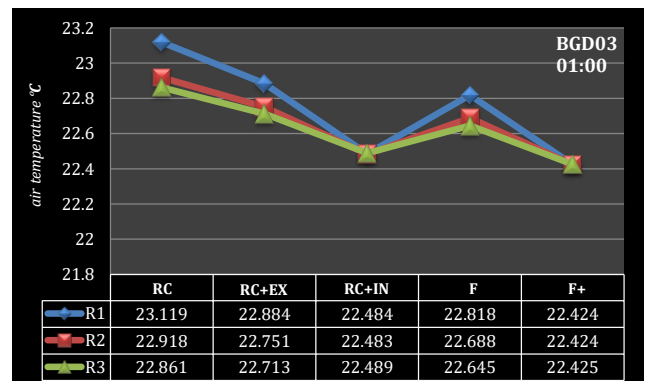
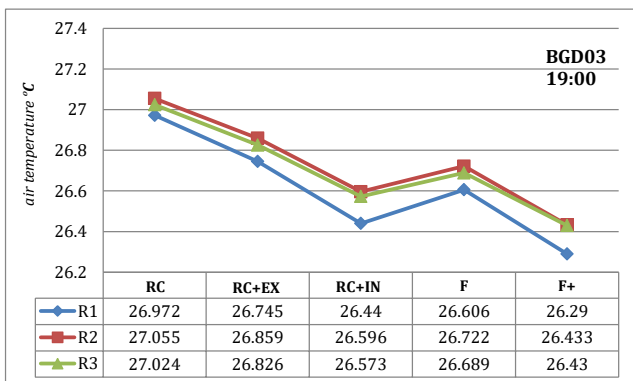
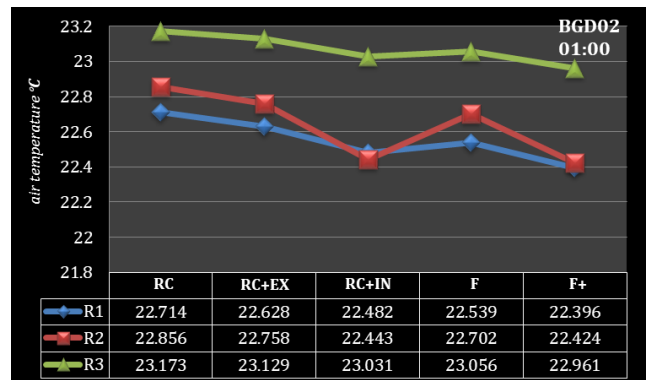
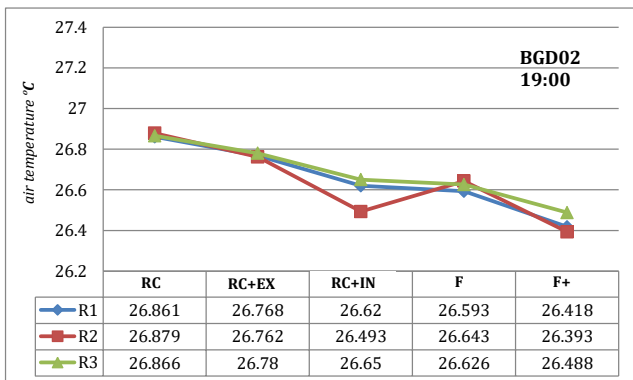
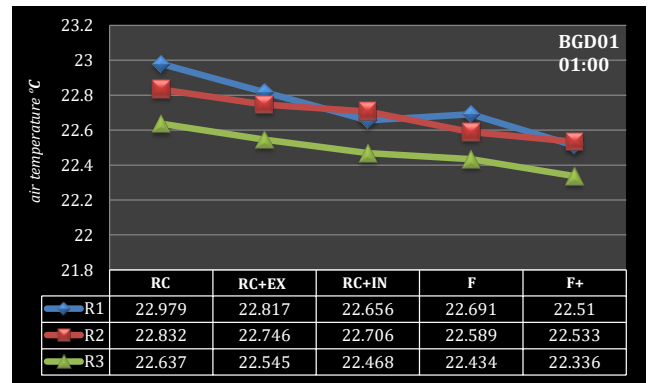
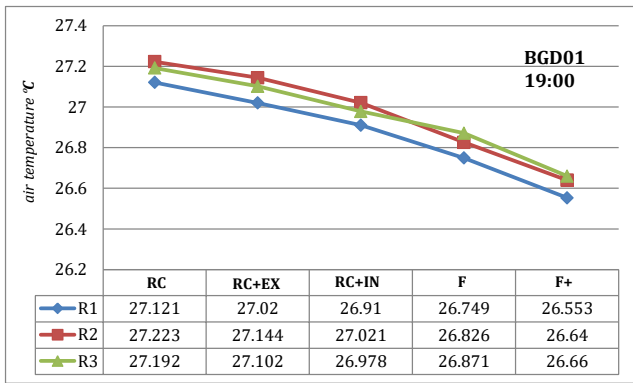
| BGD03 | | | | | |
|---|-----------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| модел | време (h) | R1 температура (°C) | R2 температура (°C) | R3 температура (°C) | ПРОСЕК температура (°C) |
| Realcity R | 07:00 | 21.647 | 21.275 | 21.316 | 21.41 |
| | 13:00 | 26.494 | 26.691 | 26.661 | 26.62 |
| | 19:00 | 26.972 | 27.055 | 27.024 | 27.02 |
| | 01:00 | 23.119 | 22.918 | 22.861 | 22.97 |
| Realcity+extensive green roof R+EX | 07:00 | 21.328 | 20.969 | 21.033 | 21.11 |
| | 13:00 | 26.418 | 26.645 | 26.515 | 26.53 |
| | 19:00 | 26.745 | 26.859 | 26.826 | 26.81 |
| | 01:00 | 22.884 | 22.751 | 22.713 | 22.78 |
| Realcity+intensive green roof R+IN | 07:00 | 20.758 | 20.466 | 20.672 | 20.63 |
| | 13:00 | 26.519 | 26.637 | 26.482 | 26.55 |
| | 19:00 | 26.440 | 26.596 | 26.573 | 26.54 |
| | 01:00 | 22.484 | 22.483 | 22.489 | 22.49 |
| Future F | 07:00 | 21.138 | 20.868 | 20.888 | 20.96 |
| | 13:00 | 25.744 | 26.090 | 25.940 | 25.92 |
| | 19:00 | 26.606 | 26.722 | 26.689 | 26.67 |
| | 01:00 | 22.818 | 22.688 | 22.645 | 22.72 |
| Futureplus F+ | 07:00 | 20.573 | 20.368 | 20.540 | 20.49 |
| | 13:00 | 25.540 | 25.710 | 25.798 | 25.68 |
| | 19:00 | 26.290 | 26.433 | 26.430 | 26.38 |
| | 01:00 | 22.424 | 22.424 | 22.425 | 22.42 |

Табела 6.5: Вредности температуре ваздуха у °C за ниво пешака (1.5 m) за контролне тачке R1, R2 и R3, и просечне вредности, за модел постојећег стања (Realcity) и 4 модела утицаја вегетационих кровова (Realcity+extensive green roof, Realcity+intensive green roof, Future и Futureplus) на локацији **BGD04** у Београду за 23.06. у 7:00, 13:00 и 19:00 сати и 24.06. у 01:00 сат

| BGD04 | | | | | |
|---|-----------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| модел | време (h) | R1 температура (°C) | R2 температура (°C) | R3 температура (°C) | ПРОСЕК температура (°C) |
| Realcity R | 07:00 | 21.295 | 20.762 | 21.350 | 21.14 |
| | 13:00 | 26.577 | 26.512 | 26.627 | 26.57 |
| | 19:00 | 26.980 | 26.922 | 26.955 | 26.95 |
| | 01:00 | 22.871 | 22.358 | 22.765 | 22.66 |
| Realcity+extensive green roof R+EX | 07:00 | 21.213 | 20.657 | 21.233 | 21.03 |
| | 13:00 | 26.692 | 26.521 | 26.742 | 26.65 |
| | 19:00 | 26.857 | 26.801 | 26.832 | 26.83 |
| | 01:00 | 22.624 | 22.135 | 22.553 | 22.44 |
| Realcity+intensive green roof R+IN | 07:00 | 20.754 | 20.332 | 20.681 | 20.59 |
| | 13:00 | 26.677 | 26.448 | 26.645 | 26.59 |
| | 19:00 | 26.690 | 26.638 | 26.649 | 26.66 |
| | 01:00 | 22.470 | 22.001 | 22.423 | 22.30 |
| Future F | 07:00 | 20.985 | 20.535 | 20.961 | 20.83 |
| | 13:00 | 26.035 | 26.299 | 26.291 | 26.21 |
| | 19:00 | 26.652 | 26.705 | 26.674 | 26.68 |
| | 01:00 | 22.530 | 22.087 | 22.482 | 22.37 |
| Futureplus F+ | 07:00 | 20.555 | 20.221 | 20.417 | 20.40 |
| | 13:00 | 25.639 | 26.070 | 25.761 | 25.82 |
| | 19:00 | 26.459 | 26.532 | 26.451 | 26.48 |
| | 01:00 | 22.357 | 21.953 | 22.341 | 22.22 |



Слика 6.6: Поређење температура у °C за ниво пешака (1.5 m) за контролне тачке R1, R2 и R3 за модел постојећег стања (Reality) и 4 модела утицаја вегетационих кровова (Reality+extensive green roof, Reality+intensive green roof, Future и Futureplus) на 4 локације (BGD01, BGD02, BGD03, BGD04) у Београду за 23.06. у 7:00 и 13:00 сати



Слика 6.7: Поређење температура у °C за ниво пешака (1.5 m) за контролне тачке R1, R2 и R3 за модел постојећег стања (Realcity) и 4 модела утицаја вегетационих кровова (Realcity+extensive green roof, Realcity+intensive green roof, Future и Futureplus) на 4 локације (BGD01, BGD02, BGD03, BGD04) у Београду за 23.06. у 19:00 сати и 24.06. у 01:00 сат

Слике 6.6 и 6.7 дају приказ кретања температуре у контролним тачкама, које су уведене како би се утврдио просек и провериле тенденције снижења температуре за истраживана варијантна решења.

Контролне тачке потврдиле су све претходно описане трендове промена температуре увођењем екстензивних и интензивних зелених кровова и променом материјала у просторима јавне намене – да имплементација интензивних вегетационих кровова (RC+IN модел) доприноси већем снижењу температуре ваздуха на нивоу пешака у урбаним зонама у односу на употребу екстензивних вегетационих кровова (RC+EX модел) и да коришћење материјала повољнијих термичких карактеристика у завршним слојевима јавних простора у комбинацији са вегетационим крововима (F и F+ модели) даје побољшане резултате снижења температуре у атмосфери на нивоу корисника простора (1.5 m). Процеси који доводе до ових резултата детаљно су описани у претходном потпоглављу.

Код традиционалне изградње центра Београда коју репрезентује BGD03 у унутрашњости компактних блокова уочава се снижење температуре на нивоу пешака, што се такође види и у унутрашњем дворишту (атријуму) обданишта ниске спратности ($h=10\text{ m}$) у BGD02, што упућује да је за снижење температуре у унутрашњим двориштима и комфор корисника употреба зелених кровова важна. Како је већ објашњено то је последица близине кровних равни на које је додат слој са вегетацијом а такође и форме групације објеката. До истог закључка долазе и аутори [44][116][51][115].

Контролне тачке постављене изнад асфалтних површина показују да се са променом материјала завршне обраде у јавним просторима снижава температура ваздуха на нивоу пешака што је посебно значајно у периодима израженог сунчевог зрачења (13 сати) и деловима града са великим површинама за паркирање, игралиштима, спортским теренима, трговима, пјачетама, плацевима стоваришта. Такође је значајно да се приликом реновирања саобраћајница и тротоара, за све типове изградње, користе материјали са високим вредностима албеда, што директно доводи до снижавања температуре спољашњег ваздуха у урбаном окружењу и доприноси ублажавању урбаног топлотног острва, што се може видети поређењем модела

Realcity+extensive green roof (RC+EX) sa Future (F) kao i Realcity+intensive green roof (RC+IN) sa Futureplus (F+), za sve lokacije BGD01, BGD02, BGD03 и BGD04. Све контролне тачке потврђују овај тренд.

Просечне разлике у температури атмосфере на нивоу пешака

У табели 6.6 дат је преглед просечних разлика у температури за ниво пешака ($h=1.5\text{ m}$) за 4 модела утицаја вегетационих кровова (RC+EX, RC+IN, F, F+) у поређењу са моделом постојећег стања (RC) на 4 локације (BGD01, BGD02, BGD03, BGD04) за типичан летњи дан у Београду у 07:00, 13:00, 19:00 и 01:00 сат.

Просечне температуре добијене су, како је већ описано, упросечавањем вредности контролних тачака (R1, R2 и R3) постављеним на свакој локацији.

Табела 6.6: Преглед просечних разлика у температури ΔT ($^{\circ}\text{C}$) за ниво пешака за 4 модела утицаја вегетационих кровова (RC+EX, RC+IN, F, F+) у поређењу са моделом постојећег стања (RC) на 4 локације (BGD01, BGD02, BGD03, BGD04) у Београду за 23.06. у 07:00, 13:00, 19:00 сати и 24.06. у 1:00 сат

| 23.06. (h) | Reality+EX green roof поређење са Reality | Reality+IN green roof поређење са Reality | Future поређење са Reality | Futureplus поређење са Reality |
|---|--|--|----------------------------------|--------------------------------------|
| BGD01 | | | | |
| $h=1.5\text{ m}, \Delta T$ ($^{\circ}\text{C}$) | | | | |
| 07:00 | - 0.11 | - 0.32 | - 0.49 | - 0.84 |
| 13:00 | - 0.01 | - 0.06 | - 0.72 | - 1.00 |
| 19:00 | - 0.09 | - 0.21 | - 0.36 | - 0.56 |
| 01:00 | - 0.12 | - 0.21 | - 0.25 | - 0.36 |
| BGD02 | | | | |
| $h=1.5\text{ m}, \Delta T$ ($^{\circ}\text{C}$) | | | | |
| 07:00 | - 0.11 | - 0.42 | - 0.20 | - 0.49 |
| 13:00 | - 0.10 | - 0.19 | - 0.49 | - 0.58 |
| 19:00 | - 0.10 | - 0.28 | - 0.25 | - 0.44 |
| 01:00 | - 0.07 | - 0.26 | - 0.21 | - 0.32 |
| BGD03 | | | | |
| $h=1.5\text{ m}, \Delta T$ ($^{\circ}\text{C}$) | | | | |
| 07:00 | - 0.30 | - 0.78 | - 0.45 | - 0.92 |
| 13:00 | - 0.09 | - 0.17 | - 0.70 | - 0.94 |
| 19:00 | - 0.21 | - 0.48 | - 0.35 | - 0.64 |
| 01:00 | - 0.19 | - 0.48 | - 0.25 | - 0.55 |
| BGD04 | | | | |
| $h=1.5\text{ m}, \Delta T$ ($^{\circ}\text{C}$) | | | | |
| 07:00 | - 0.11 | - 0.55 | - 0.31 | - 0.74 |
| 13:00 | - 0.02 | - 0.08 | - 0.36 | - 0.75 |
| 19:00 | - 0.12 | - 0.29 | - 0.27 | - 0.47 |
| 01:00 | - 0.22 | - 0.36 | - 0.29 | - 0.44 |

За климатско подручје Београда употреба система вегетационих кровова, односно увођење нових елемената зелене инфраструктуре у простор, највише утицаја на снижење температуре ваздуха у урбаним срединама има у 7 сати ујутру. У 13 сати ефекат употребе вегетационих кровова, екстензивних или интензивних, је скоро занемарљив, односно нису значајне разлике између стандардне и зелене кровне конфигурације, што закључују и аутори [74][113]. Ово се дешава јер са повећањем интензитета соларног зрачења долази до смањења ефекта вегетације имплементираних на кровним површинама.

Када посматрамо просечне разлике у температури резултати симулације модела показују да на нивоу пешака ($h=1.5$ m) употреба система екстензивних зелених кровова у урбаним целинама снижава температуру спољашњег ваздуха просечно за 0.11, 0.11, 0.30 и 0.11 °C на нивоу пешака у 7 сати ујутру, редом за локације BGD01-BGD04.

Употребом система интензивних зелених кровова у урбаним целинама снижава се температура спољашњег ваздуха на нивоу пешака ($h=1.5$ m) просечно за 0.32, 0.42, 0.78 и 0.55 °C у 7 сати, редом за локације BGD01-BGD04.

Приметно је да је у оба случаја употребе вегетационих кровова, екстензивних и интензивних, просек на локацији BGD03 највиши, односно температура у спољној средини се највише спушта у односу на модел постојећег стања. То се објашњава чињеницом да без обзира што је просечна висина објеката (15 m) већа него просечна висина код BGD04 (објекти ниске спратности просечне висине 8 m) утицај вегетације са кровних равни осетан је на нивоу пешака јер је услед већег броја објеката и веће густине изграђености, повећана површина на коју је имплементирана вегетација чији се утицај истражује и евалуира. Процент изграђености код локације BGD03 је 43%, што је значајно више него код других локација – 11% (BGD01), 21% (BGD02) и 28% (BGD04). То практично значи да је озелењена површина кровова код BGD03 значајно већа него код других типова изградње. Дакле, површина кровова који се озелењавају игра значајну улогу у побољшању резултата, што се види на овом примеру. Овај закључак значајан је како за реконструкцију градских језгара тако и за урбанистичко планирање будућих насеља у климатским условима Београда.

Следећа локација вреднована према степену снижења температуре је локација BGD04 која има објекте најнижих висина (8 m). Резултати употребе система зелених кровова код урбаних структура ниске спратности (BGD04), посматрано за ниво пешака, су значајнији него код других истраживаних урбаних подручја више спратности (BGD01 и BGD02) које имају сличан проценат изграђености, односно имплементирана је иста или приближно иста површина вегетације на кровове. Очекивано, вегетациони кровови постављени на објекте са ниском спратношћу имају већи утицај на нивоу пешака. Ово се може објаснити чињеницом да је дистанца између крова и пешачких равни мања него код типова изградње више и високе спратности (BGD01 и BGD02). Због тога је на нивоу пешака утицај зелених кровова, како екстензивних тако и интензивних, израженији код BGD04, што закључују и други аутори [43][44][115][113].

Увођењем хладних материјала у јавне просторе и употребом екстензивних зелених кровова (F модел) температура се на нивоу пешака у 7 сати ујутру снижава просечно за 0.49, 0.20, 0.45 и 0.31 °C, док се употребом хладних материјала и системом интензивних зелених кровова (F+модел) типичног летњег дана у Београду температура спољашњег ваздуха потенцијално просечно снижава за 0.84, 0.49, 0.92 и 0.74 °C на нивоу пешака, у односу на RC, редом. За 13 сати ове вредности износе 0.72, 0.49, 0.70 и 0.36 °C (F модел у односу на RC модел) и 1.00, 0.58, 0.94 и 0.75 °C (F+ модел у односу на RC модел).

Приметно је да употреба материјала са вишим албедом за површине у јавним просторима у комбинацији са зеленим крововима (F и F+ модели) даје значајније резултате од саме употребе екстензивних и интензивних вегетационих кровова (RC+EX и RC+IN модели), који су посебно изражени на нивоу пешака (1.5 m). Ови резултати су очекивани, с обзиром да је употреба „хладних“ материјала, како је детаљно описано у почетним поглављима, једна од признатих стратегија ублажавања урбаних топлотних острва, што закључују и [43][56][54][55].

6.2 Истраживање ефеката примене система зелених кровова на смањење емисије CO₂ у урбаном окружењу за климатске услове Београда

На бази спроведених истраживања и развијених модела инсталације система зелених кровова урађена је анализа утицаја примене екстензивних и интензивних зелених кровова (модел **RC+EX**, **RC+IN**) на смањење концентрације CO₂ у ваздуху у густо изграђеној урбаној средини централне зоне Београда (локација **BGD03**).

На овај начин истражен је утицај зелених кровова, екстензивних и интензивних, на снижење концентрације CO₂ у типичном урбаном окружењу центра Београда.

За истраживање је одабрана локација BGD03 (слика 5.9) јер се налази у најужем центру Београда, у стамбеној зони која репрезентује тип изградње великих делова централних општина. Изградња на регулацији, велики проценат заузетости простора објектима (преко 40%), уске улице, мали проценат озелењених површина – карактеришу овај и овакве моделе изграђености у Београду, који су типични за Врачар, Стари град, Звездару, делове Палилуле. У оваквим густо изграђеним блоковима елементе зелене инфраструктуре практично је једино могуће увести на кровове зграда, имплементацијом вегетационих кровова, чиме се надомешћује недостатак слободних зелених простора у урбаном окружењу и тиме утиче на снижење процента концентрације CO₂ у атмосфери.

Промене у концентрацији CO₂ истражене су на три карактеристичне пресечне висине (1.5 m, 7.5 m и 17.5 m) у четири карактеристичка дневна временска пресека (7:00 h, 13:00 h, 19:00 h и 01.00 h), типичног летњег дана у Београду, 23.6.

Симулације модела су рађене за 24 сата, са почетком у 5:00 сати ујутру, те је као и код температуре, приказ резултата дат у природном следу, од јутарњих сати, преко дана, до ноћи.

Истраживана групација објеката је део територије општине Врачар, као што је описано у тексту и приказано на ортофото снимку (слика 5.2). Модел

постојећег стања Realcity model (RC) локације BGD03 (2D приказ) приказан је на слици 5.9. На слици 5.13 дат је 2D приказ улазне датотеке за модел локације BGD03 са имплементираним интензивним зеленим крововима (RC+IN) које чине ниска и висока вегетација и трава. Код модела са екстензивним зеленим крововима (RC+ EX) на кровове је имплементирана само трава.

Слика 6.8 приказује концентрацију CO₂ у атмосфери на нивоу пешака (1.5 m), на 7.5 m висине и 17.5 m висине, за модел постојећег стања (RC model) и два модела утицаја вегетационих кровова (RC+EX – екстензивни зелени кровови и RC+IN – интензивни зелени кровови). Приказана је концентрација CO₂ у атмосфери у 07:00 сати ујутру, типичног летњег дана у Београду, са благим ветром јачине 1.9 m/s.

Све 2D мапе на слици 6.8 имају једну заједничку легенду, како би се промене у концентрацији CO₂ (ppm) јасно и недвосмислено виделе.

Посматрајући слику 6.8 и легенду концентрације CO₂ уочљив је тренд смањења концентрације код истраживаних варијантних решења, редом. На снижење концентрације CO₂ већи утицај имају интензивни зелени кровови од екстензивних вегетационих кровова, на свим истраживаним висинама.

На свим испитаваним пресечним висинама (1.5 m, 7.5 m и 17.5 m) у 7 сати ујутру интензивни зелени кровови дају већи допринос снижењу концентрације CO₂ него екстензивни зелени кровови.

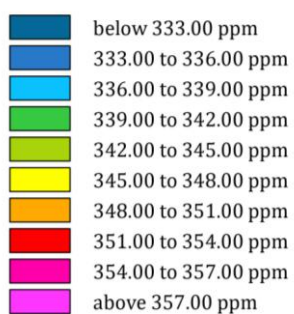
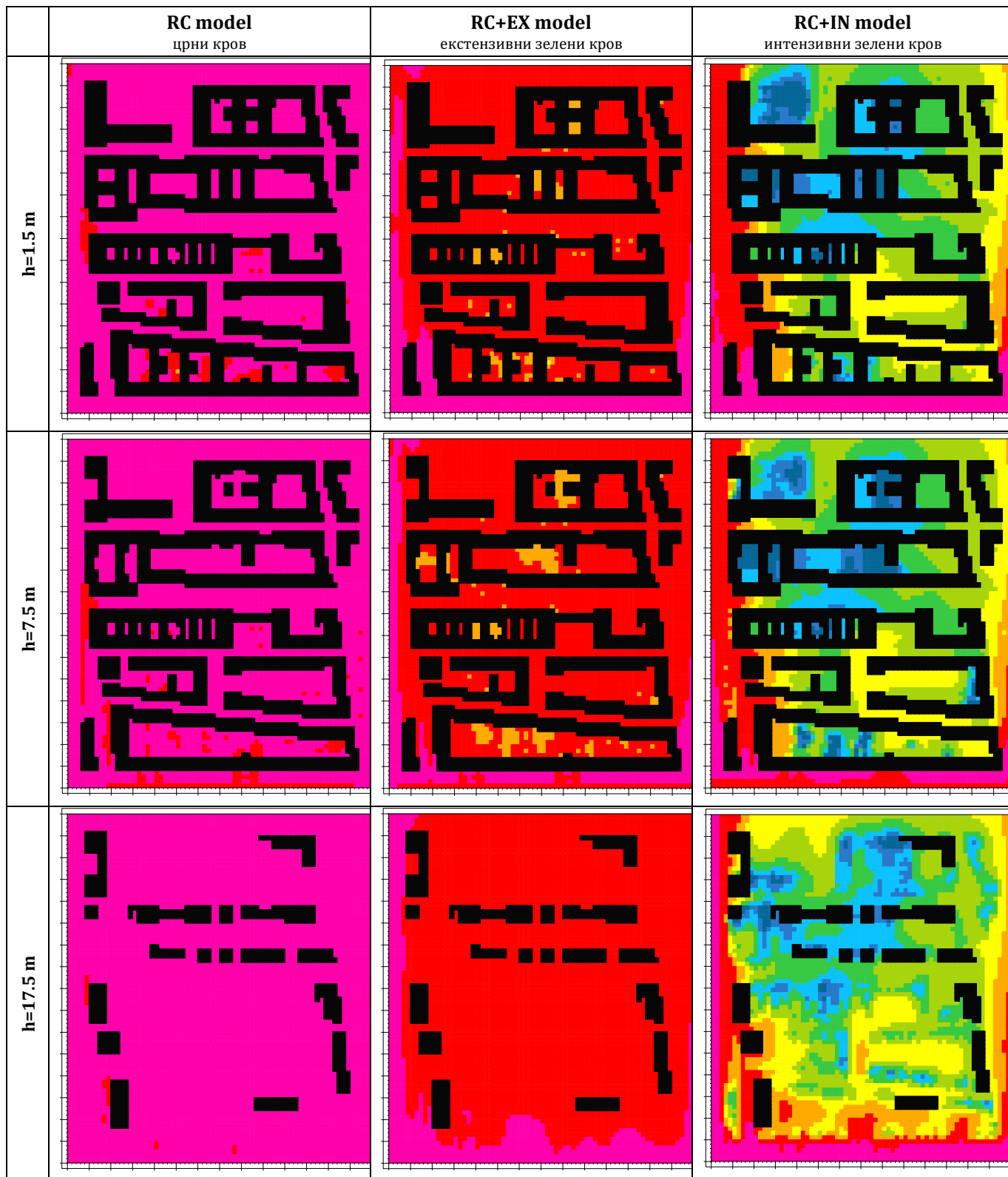
Угљендиоксид је суштинска компонента ваздуха и веома је важан за фотосинтезу вегетације. Биљке користе фотосинтезу за претварање CO₂ из ваздуха у глукозу. Што је већа биомаса биљке, односно лисна површина, већа је апсорпција CO₂. Резултат тог процеса је смањење концентрације CO₂ у атмосфери око зграда са вегетационим крововима. Интензивни зелени кровови имају већу лисну површину биљака него екстензивни, што резултира већим снижавањем концентрације CO₂ у случају модела урбане реконструкције применом система интензивних зелених кровова.

Интензитет снижења концентрације CO₂ у директној је вези са близином зеленог крова. Резултати симулација приказују да је у испитиваном случају

осетнији утицај на висини од 7.5 метара него на 1.5 и 17.5 метара. То се може објаснити чињеницом да је проценат заступљености објеката са кровним равнима на 18, 20, 25 и 40 метара мањи од оних чије су кровне равни на 8, 10, 12 и 15 метара, те је резултат утицаја очекивано већи на 7.5 метара него на 17.5 метара висине.

На снижење концентрације CO_2 очекивано већи утицај имају интензивни зелени кровови од екстензивних вегетационих кровова, на свим истраживаним висинама, што је директна последица количине вегетације на крововима. Интензивни зелени кровови имају интензивну, бујну вегетацију која аспорбује CO_2 у већој мери него екстензивна која има само траву у завршном слоју, што је последица веће лисне површине биљака интензивног кровног врта [60][63][65][99].

Удаљеност нивоа пешака од површина кровова на којима је имплементирана вегетација доприноси томе да се у односу на испитиване пресечне висине најмањи утицај осећа на 1.5 m, односно нивоу пешака, с обзиром на удаљености кровних равни, јер се највећи утицај ублажавања концентрације CO_2 осећа у непосредној близини биљака, како је закључено и у [39][63][64][65].



Слика 6.8: Концентрација CO₂ (ppm) на нивоу пешака (1.5 m), 7.5 m и 17.5 m висине за модел постојећег стања (Realcity) и моделе утицаја вегетационих кровова (Realcity+EX и Realcity+IN) на подручју локације BGD03, 23.06. у 07:00 сати

Нумерички у табелама 6.7-6.10 и графички на сликама 6.9-6.12 приказани су резултати истраживања ENVI-met модела постојећег стања, модела са имплементираним екстензивним зеленим крововима и модела са интензивним зеленим крововима. Приказане су минималне и максималне вредности концентрације CO₂ у спољној атмосфери за 07:00, 13:00, 19:00 сати и 01:00 сат.

Табела 6.7: Минимална и максимална концентрација CO₂ (ppm) за модел постојећег стања (Reality) и моделе утицаја вегетационих кровова (RC+EX и RC+IN) на нивоу пешака (1.5 m), 7.5 m и 17.5 m висине, 23.06. у 07:00 сати

| CO ₂ (ppm) min/max | RC model црни кров | RC+EX model екстензивни зелени кров | RC+IN model интензивни зелени кров |
|----------------------------------|-----------------------|--|---------------------------------------|
| h=1.5 m | 350.84 / 355.98 | 347.71 / 355.44 | 320.12 / 355.26 |
| h=7.5 m | 351.39 / 355.87 | 348.67 / 354.74 | 310.64 / 354.48 |
| h=17.5 m | 353.39 / 355.75 | 351.07 / 354.60 | 326.89 / 354.57 |

Табела 6.8: Минимална и максимална концентрација CO₂ (ppm) за модел постојећег стања (Reality) и моделе утицаја вегетационих кровова (Reality+EX и Reality+IN) на нивоу пешака (1.5 m), 7.5 m и 17.5 m висине, 23.06. у 13:00 сати

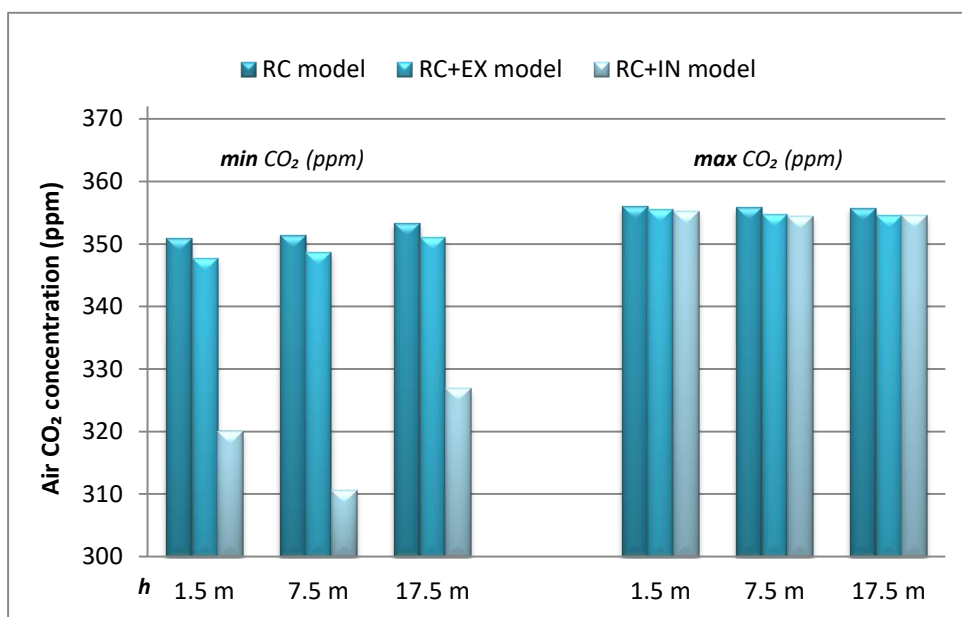
| CO ₂ (ppm) min/max | RC model црни кров | RC+EX model екстензивни зелени кров | RC+IN model интензивни зелени кров |
|----------------------------------|-----------------------|--|---------------------------------------|
| h=1.5 m | 360,87/363,99 | 358,34/363,89 | 343,46/363,78 |
| h=7.5 m | 360,88/363,07 | 358,37/363,04 | 339,13/362,99 |
| h=17.5 m | 360,68/362,10 | 358,67/361,90 | 343,20/361,83 |

Табела 6.9: Минимална и максимална концентрација CO₂ (ppm) за модел постојећег стања (Reality) и моделе утицаја вегетационих кровова (Reality+EX и Reality+IN) на нивоу пешака (1.5 m), 7.5 m и 17.5 m висине, 23.06. у 19:00 сати

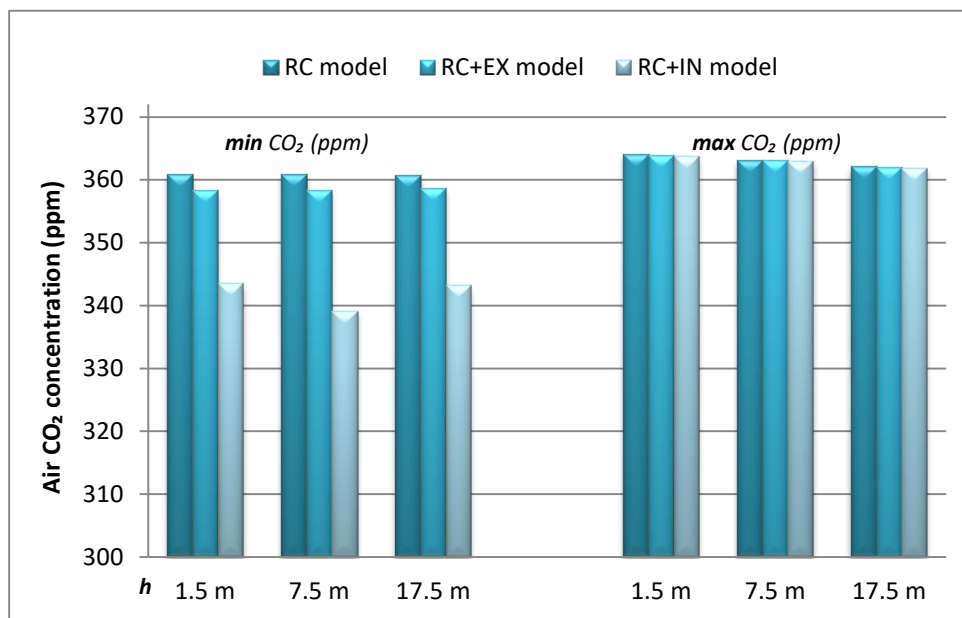
| CO ₂ (ppm) min/max | RC model црни кров | RC+EX model екстензивни зелени кров | RC+IN model интензивни зелени кров |
|----------------------------------|-----------------------|--|---------------------------------------|
| h=1.5 m | 362,70/ 363,88 | 362,73/ 363,90 | 363,07/ 368,78 |
| h=7.5 m | 362,69/ 363,67 | 362,69/ 363,68 | 362,94/ 372,14 |
| h=17.5 m | 362,66/ 363,20 | 362,62/ 363,18 | 362,79/ 367,87 |

Табела 6.1: Минимална и максимална концентрација CO₂ (ppm) за модел постојећег стања (Reality) и моделе утицаја вегетационих кровова (Reality+EX и Reality+IN) на нивоу пешака (1.5 m), 7.5 m и 17.5 m висине, 24.06. у 01:00 сат

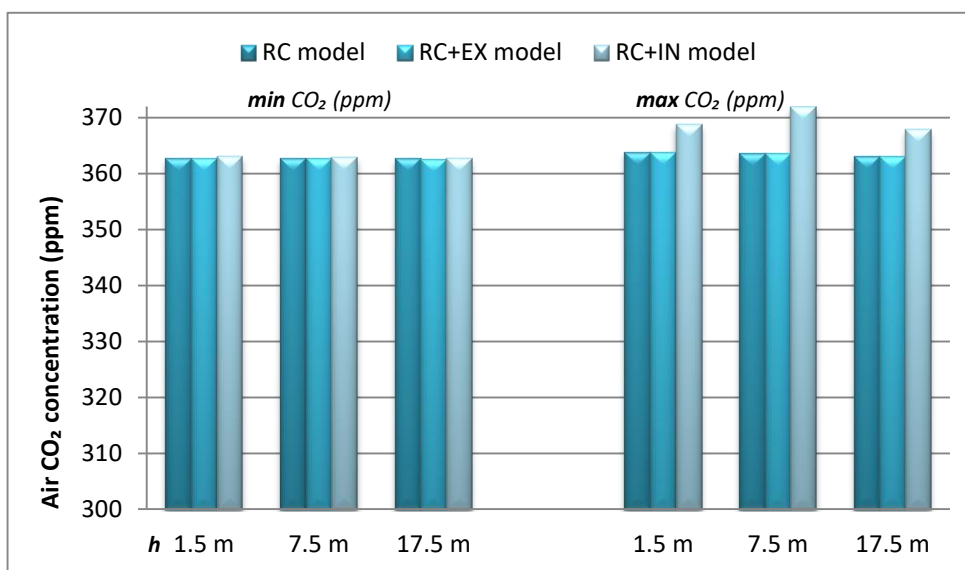
| CO ₂ (ppm) min/max | RC model црни кров | RC+EX model екстензивни зелени кров | RC+IN model интензивни зелени кров |
|----------------------------------|-----------------------|--|---------------------------------------|
| h=1.5 m | 355,97/358,74 | 355,95/359,04 | 355,93/368,90 |
| h=7.5 m | 356,64/358,65 | 356,61/358,88 | 356,57/376,20 |
| h=17.5 m | 357,20/358,58 | 357,16/358,70 | 357,09/365,16 |



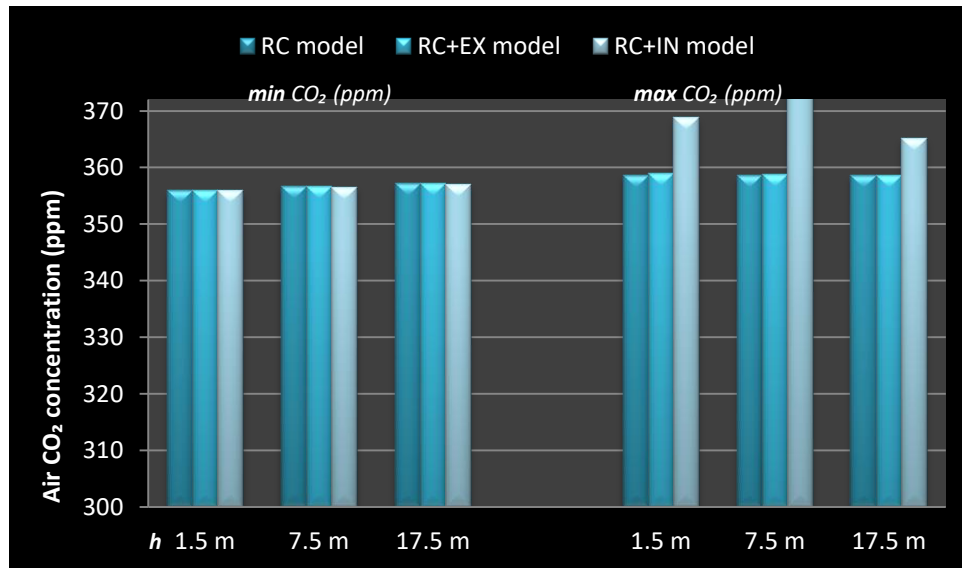
Слика 6.9: Минимална и максимална концентрација CO₂ (ppm) за модел постојећег стања (Reality) и моделе утицаја вегетационих кровова (Reality+EX и Reality+IN) на нивоу пешака (1.5 m), 7.5 m и 17.5 m висине, 23.06. у 07:00 сати



Слика 6.10: Минимална и максимална концентрација CO₂ (ppm) за модел постојећег стања (Reality) и моделе утицаја вегетационих кровова (Reality+EX и Reality+IN) на нивоу пешака (1.5 m), 7.5 m и 17.5 m висине, 23.06. у 13:00 сати



Слика 6.11: Минимална и максимална концентрација CO₂ (ppm) за модел постојећег стања (Reality) и моделе утицаја вегетационих кровова (Reality+EX и Reality+IN) на нивоу пешака (1.5 m), 7.5 m и 17.5 m висине, 23.06. у 19:00 сати



Слика 6.12: Минимална и максимална концентрација CO₂ (ppm) за модел постојећег стања (Reality) и моделе утицаја вегетационих кровова (Reality+EX и Reality+IN) на нивоу пешака (1.5 m), 7.5 m и 17.5 m висине, 24.06. у 01:00 сат

У јутарњим и дневним сатима (табеле 6.7 и 6.8 и графици 6.9 и 6.10) вегетација је активна и уочава се снижење концентрације CO₂ око објеката применом вегетационих кровова. Интензивни зелени кровови дају већи допринос од екстензивних, што је и очекивано услед већ описаних процеса.

Биљке су пречистачи ваздуха, али и произвођачи CO₂, у периодима када нема директне сунчеве светлости и у ноћним сатима. Због тог процеса уочљиво је да у вечерњим и ноћним сатима нема доприноса снижењу концентрације CO₂ око зграда, већ постоји мали допринос повећању концентрације CO₂, као што се види на сликама 6.11 и 6.12 и табелама 6.9 и 6.10. Како у периодима са директном сунчевом светлошћу већи утицај на побољшање квалитета ваздуха имају интензивни зелени кровови због вегетације која је гушћа и виша, тако у периодима дисања биљака интензивна вегетација више емитује CO₂ од биљака на екстензивном зеленом крову, који садржи само ниско растиње.

С обзиром да је апсорпција CO₂ током дана већа него емисија CO₂ током ноћи, допринос зелених кровова током дана је већи него учешће током ноћи, што је чињеница и један од елемената аргументације да су зелени кровови користан део решења за побољшање квалитета ваздуха, микроклиматских услова и адаптације градова на климатске промене [43][57][58].

У табели 6.11 дат је прегледни приказ резултата истраживања кроз компарацију максималних разлика у концентрацији CO₂ (ppm) на нивоу пешака 1.5 m, 7.5 m и 17.5 m висине за моделе утицаја екстензивних и интензивних вегетационих кровова (Realcity+EX и Realcity+IN) у односу на модел постојећег стања (Realcity), на локацији BGD03 у Београду, за 23.06. у 7:00, 13:00, 19:00 и 24.06. у 01:00 сат.

Табела 6.11: Прегледна компарација максималних разлика у концентрацији CO₂ (ppm) на нивоу пешака (1.5m), 7.5 m и 17.5 m висине за моделе утицаја вегетационих кровова (Realcity+EX и Realcity+IN) у односу на модел постојећег стања (Realcity), на локацији BGD03 у Београду, за 23.06. у 7:00, 13:00, 19:00 и 24.06. у 01:00

| 23.06. (h) | Realcity+EX green roof поређење са Realcity | Realcity+IN green roof поређење са Realcity |
|---|---|---|
| BGD03 | | |
| h=1.5 m, Δ CO₂ (ppm) | | |
| 07:00 | -5.27/0.00 | -35.74/0.02 |
| 13:00 | -2.54/0.04 | -17.92/-0.04 |
| 19:00 | -0.11/0.16 | -0.30/5.90 |
| 01:00 | -0.13/0.64 | -0.16/10.51 |
| h=7.5 m, Δ CO₂ (ppm) | | |
| 07:00 | -5.91/0.08 | -44.81/0.23 |
| 13:00 | -2.75/0.01 | -22.72/0.03 |
| 19:00 | -0.09/0.21 | -0.17/9.11 |
| 01:00 | -0.09/0.46 | -0.13/18.31 |
| h=17.5 m, Δ CO₂ (ppm) | | |
| 07:00 | -4.57/0.08 | -28.72/0.01 |
| 13:00 | -2.62/0.02 | -18.35/0.06 |
| 19:00 | -0.13/0.08 | -0.04/4.95 |
| 01:00 | -0.07/0.18 | -0.15/7.01 |

Резултати истраживања за ниво пешака показују да у јутарњим сатима, у 7 сати, на висини пешака екстензивни вегетациони кровови потенцијално снижавају концентрацију CO₂ у атмосфери до 5.27 ppm (1.50%) а интензивни до 35.74 ppm (9.16%). На висини 7.5 m екстензивни до 5.91 ppm (1.68%) а интензивни до 44.81 ppm (11.47%). На висини 17.5 m екстензивни до 4.57 ppm (1.29%) а интензивни до 28.72 ppm (7.3%). Као што је већ речено, то је због чињенице да интензивни вегетациони кровови значајније утичу на редукацију CO₂ у атмосфери од екстензивних због веће масе вегетације [60][63][65][99] као и због чињенице да се највећи утицај ублажавања концентрације CO₂ осећа у непосредној близини биљака [39][63][64][65].

У 13 сати истраживани утицаји имају следеће вредности – на висини пешака екстензивни вегетациони кровови потенцијално снижавају концентрацију CO₂ у атмосфери до 2.54 ppm (0.70%) а интензивни до 17.92 ppm (4.46%). На висини 7.5 m екстензивни до 2.75 ppm (0.76%) а интензивни до 22.72 ppm (5.66%). На висини 17.5 m екстензивни до 2.62 ppm (0.73%) а интензивни до 18.35 ppm (4.58%).

Од истраживаних временских пресека највећи је допринос система вегетационих кровова у 7 сати ујутру, у време појачане активности биљног материјала.

Вредност од 44.81 ppm (11.47%) је максимални потенцијални допринос имплементације вегетационих кровова снижењу концентрације CO₂ у атмосфери у климатским условима Београда, типичног летњег дана, што је резултат имплементације система интензивних зелених кровова. Највећи допринос екстензивних зелених кровова је потенцијално снижење концентрације до 5.91 ppm (1.68%). Очекивано, услед претходно описаних процеса интензивна вегетација даје већи допринос побољшању квалитета ваздуха и условима животне средине.

У вечерњим и ноћним сатима, у 19 сати и 01 сат, зелени кровови учествују у производњи CO₂. Међутим већи је допринос снижењу концентрације CO₂ у дневним сатима него производње у ноћним, што је јасно видљиво и у нумеричким вредностима, као и на мапама, слике 6.17-6.22.

На нивоу пешака потенцијално се благо повећава концентрација CO₂ у спољној атмосфери у 19 сати до 0.16 ppm (0.04%) имплементацијом система екстензивних зелених кровова и до 5.90 ppm (1.62%) интензивним вегетационим крововима. На 7.5 m екстензивни доприносе повећању концентрације до 0.21 (0.06%) ppm и интензивни до 9.11 ppm (2.51%) и на висини 17.5 m екстензивни до 0.08 ppm (0.02%) а интензивни до 4.95 ppm (1.36%). У ноћним сатима, посматрано у 01 сат, вегетација производи CO₂, те на нивоу 1.5 m екстензивни учествују до 0.64 ppm (0.18%) а интензивни до 10.51 ppm (2.95%), на нивоу 7.5 m екстензивни учествују до 0.46 ppm (0.13%) а интензивни до 18.31 ppm (5.13%), док на нивоу кровних равни екстензивни

подижу концентрацију CO₂ у ваздуху до 0.18 ppm (0.05%) а интензивни вегетациони кровови до 7.01 ppm (1.96%).

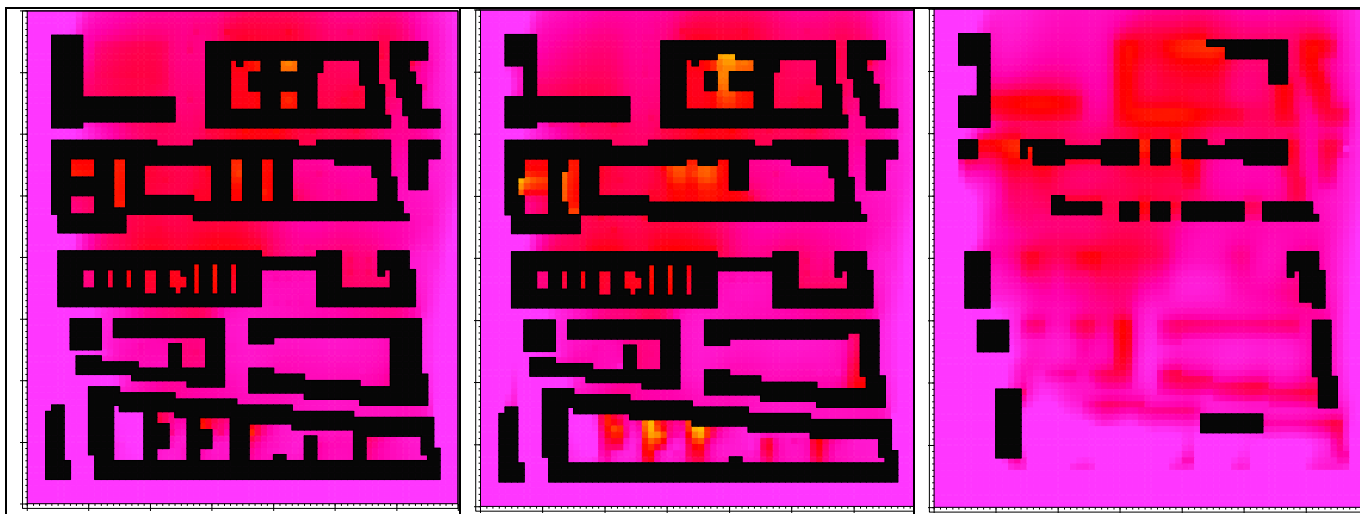
Биљке апсорбују CO₂ из атмосфере за фотосинтезу и отпуштају CO₂ у атмосферу током дисања. Ниво фотосинтезе зависи од интензитета светлости. Током дана са пуно сунчеве светлости, фотосинтеза је веома изражена и биљке апсорбују CO₂, што резултира смањењем концентрације CO₂ у њиховој околини. Ноћу фотосинтеза постаје слаба, а вегетација делује као извор CO₂ због респирације, што резултира вишом концентрацијом CO₂. Због овог процеса, као што је већ описано, приметно је да постоји мали допринос повећању концентрације CO₂ у вечерњим и ноћним сатима.

Пошто је интензитет апсорпције CO₂ током сунчаних сати много већи од стопе емисије CO₂ у току ноћи, допринос вегетационих кровова на смањење концентрације CO₂ у току дана је знатно већи од нивоа емисије CO₂ у току ноћи.

На сликама 6.13 и 6.15 приказана је разлика у концентрацији CO₂ (ppm) модела утицаја екстензивних вегетационих кровова (RC+EX) у односу на модел постојећег стања (RC). Дати су резултати за дневне сате, 07:00 и 13:00 сати, на три пресечне висине (1.5 m, 7.5 m и 17.5 m), за типичан летњи дан у Београду, 23.06. Приказ је дат графички, на мапи подручја, попречном и подужном пресеку кроз територију BGD03. На сликама 6.14 и 6.16 дати су исти прикази за интензивне вегетационе кровове.

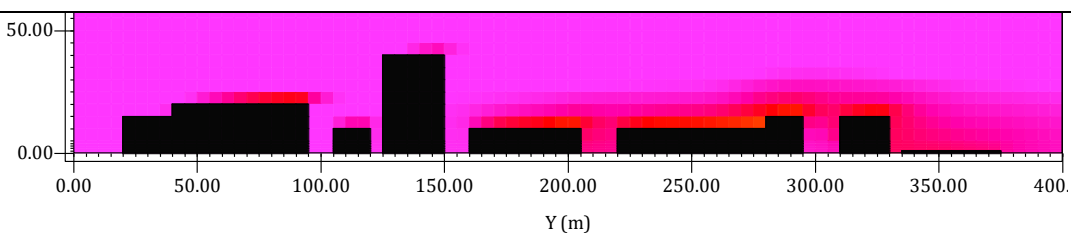
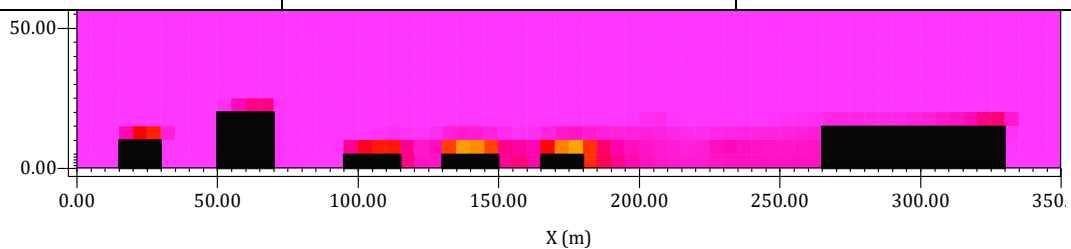
Све слике 6.13-6.16 имају заједничку легенду, и доприноси су и визуелно видљиви и поредиви.

Разлика утицаја примене система екстензивних вегетационих кровова у односу на интензивне, истраживано на локацији BGD03, јасно се види и кроз дате мапе и кроз пресеке. Изражено већи допринос интензивних зелених кровова последица је веће лисне површине вегетације, што је већ описано.

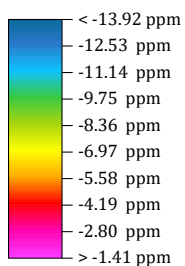


RC+EX у односу на RC - min/маx разлика у концентрацији CO₂ (ppm) - 7:00 h

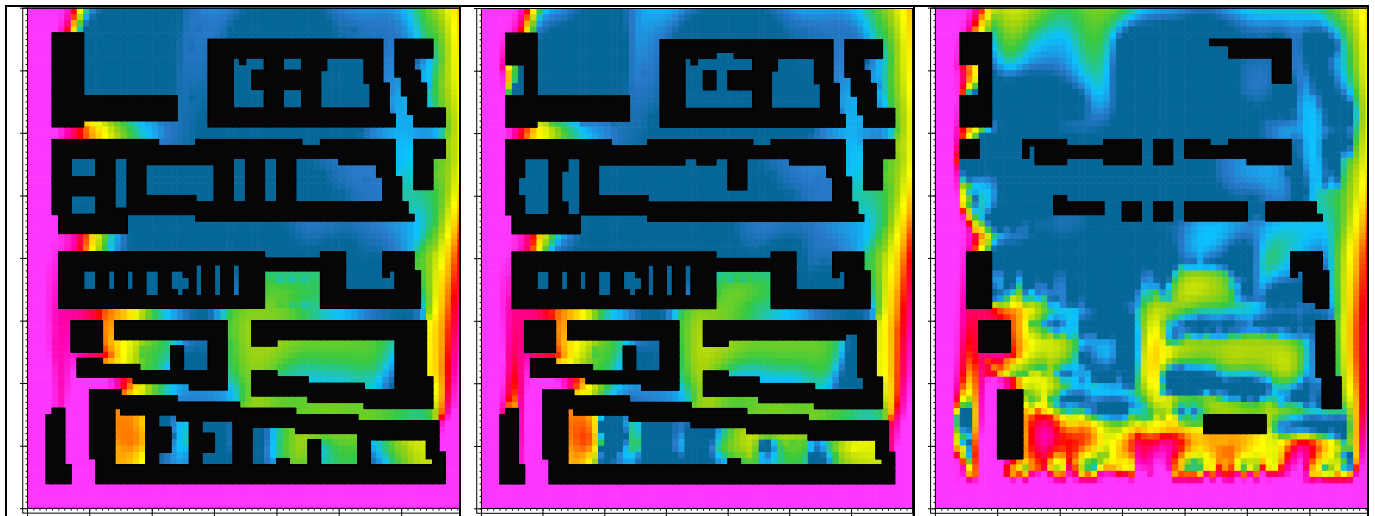
| h=1.5 m | h=7.5 m | h=17.5 m |
|------------|------------|------------|
| -5.27/0.00 | -5.91/0.08 | -4.57/0.08 |



апсолутна разлика CO₂

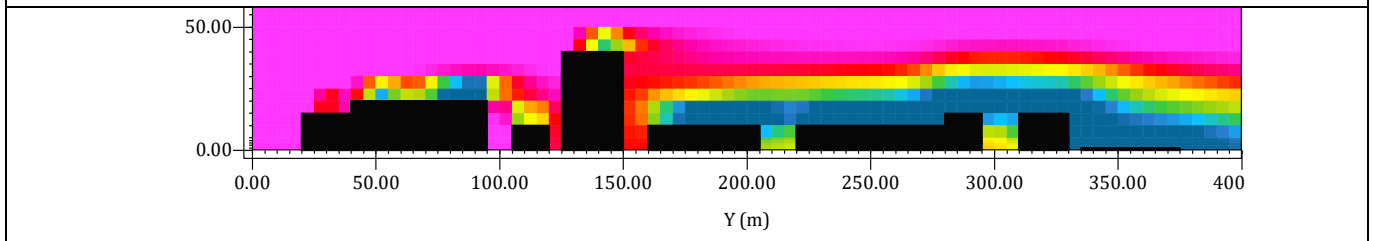
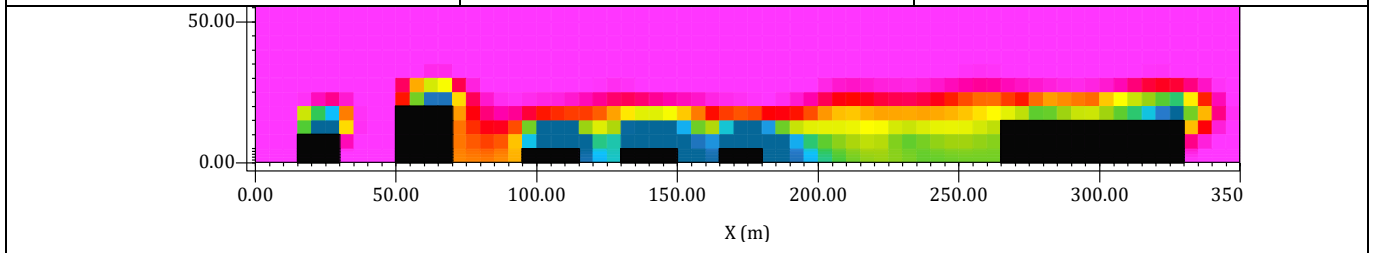


Слика 6.13: Разлика у концентрацији CO₂ (ppm) модела утицаја екстензивних вегетационих кровова (RC+EX) у односу на модел постојећег стања (RC) – прикази на 1.5 m, 7.5 m и 17.5 m висине, попречном и подужном пресеку, 23.06. у 07:00 сати

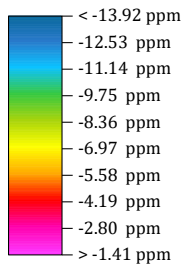


RC+IN у односу на RC - min/max разлика у концентрацији CO₂ (ppm) - 7:00 h

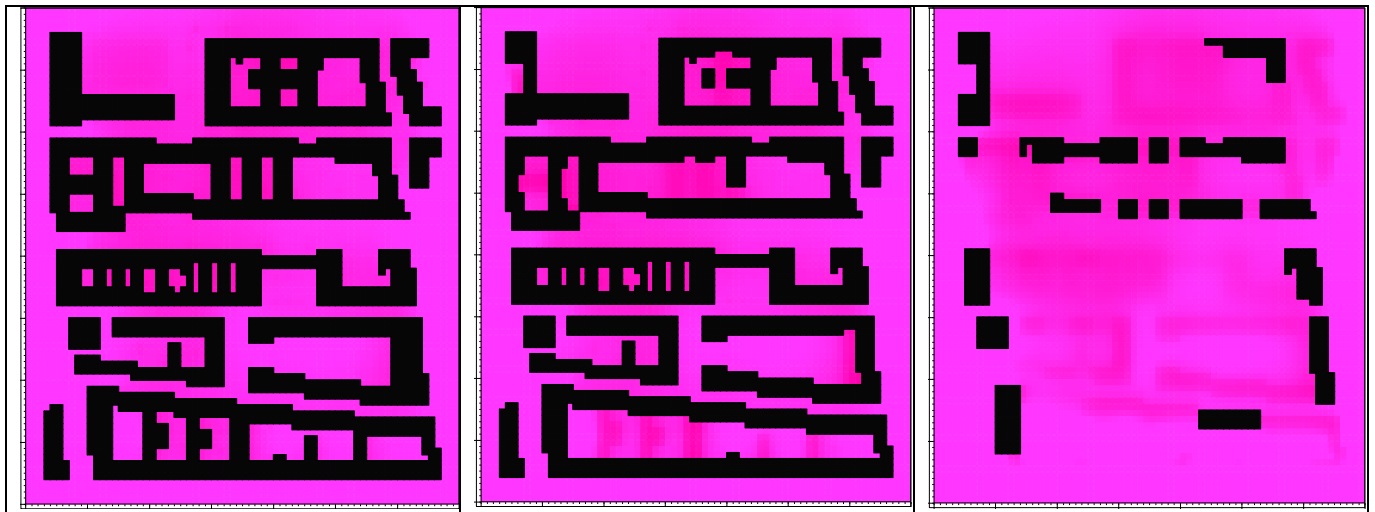
| h=1.5 m | h=7.5 m | h=17.5 m |
|-------------|-------------|-------------|
| -35.74/0.02 | -44.81/0.23 | -28.72/0.01 |



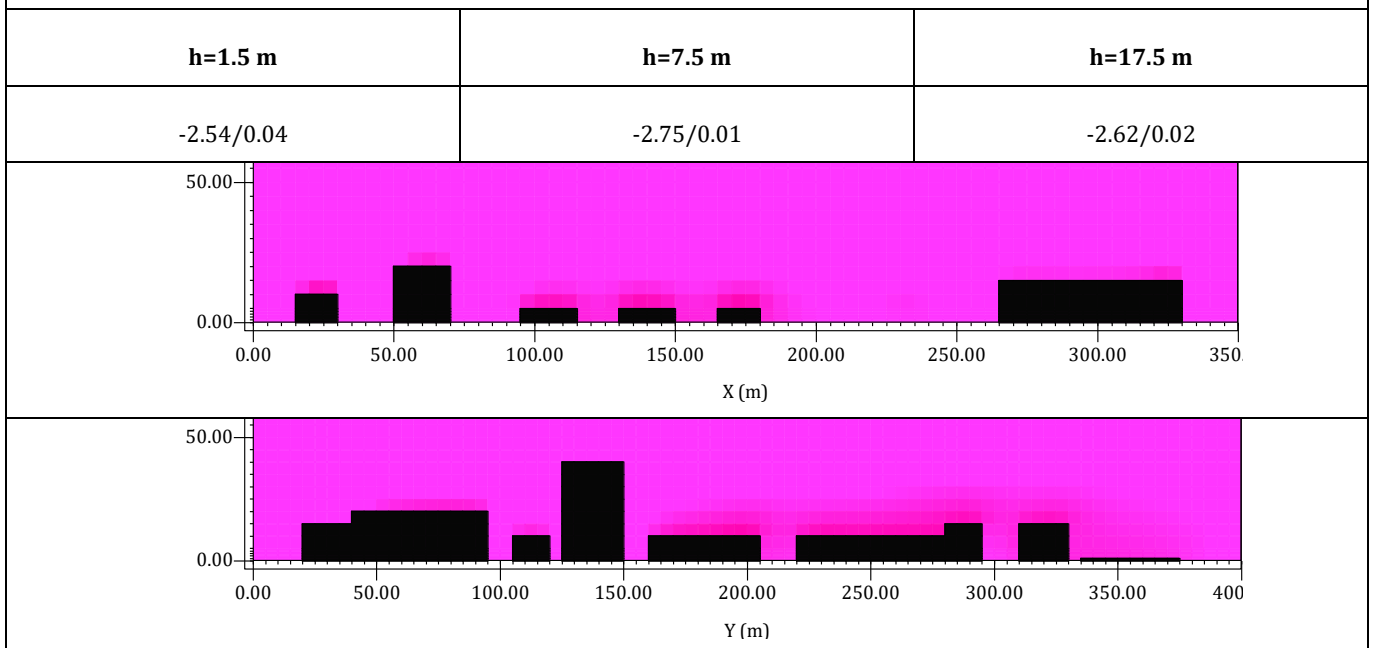
апсолутна разлика CO₂



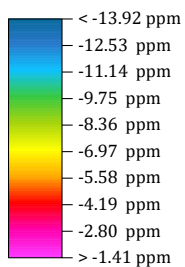
Слика 6.14: Разлика у концентрацији CO₂ (ppm) модела утицаја интензивних вегетационих кровова (RC+IN) у односу на модел постојећег стања (RC) – прикази на 1.5 m, 7.5 m и 17.5 m висине, попречном и подужном пресеку, 23.06. у 7:00 сати



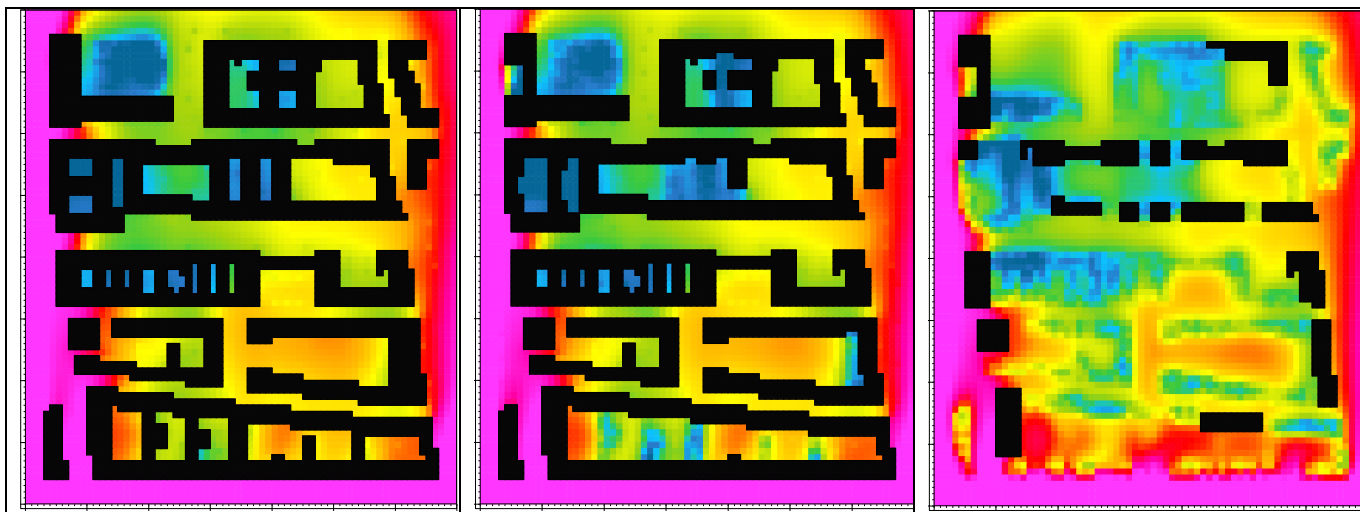
RC+EX у односу на RC - min/маx разлика у концентрацији CO₂ (ppm) - 13:00 h



апсолутна разлика CO₂

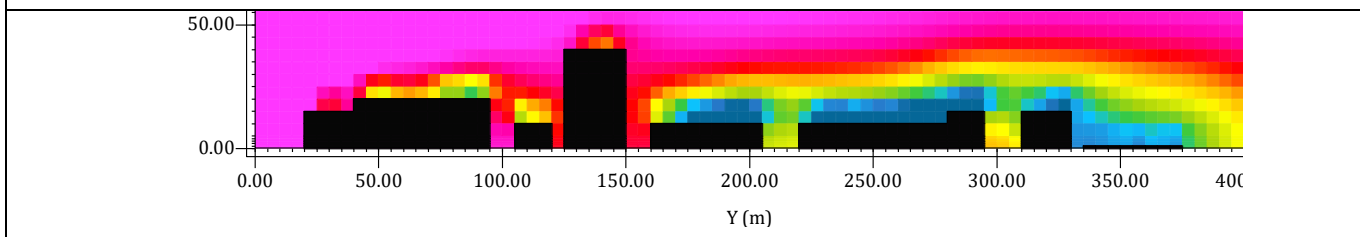
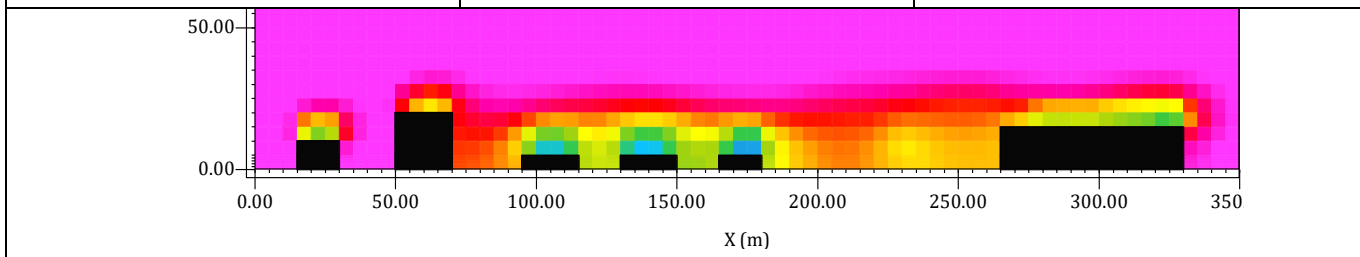


Слика 6.15: Разлика у концентрацији CO₂ (ppm) модела утицаја екстензивних вегетационих кровова (RC+EX) у односу на модел постојећег стања (RC) – прикази на 1.5 m, 7.5 m и 17.5 m висине, попречном и подужном пресеку, 23.06. у 13:00 сати

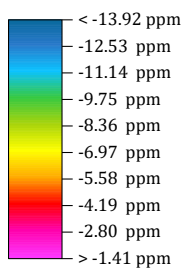


RC+IN у односу на RC - min/маx разлика у концентрацији CO₂ (ppm) - 13:00 h

| h=1.5 m | h=7.5 m | h=17.5 m |
|--------------|-------------|-------------|
| -17.92/-0.04 | -22.72/0.03 | -18.35/0.06 |



апсолутна разлика CO₂



Слика 6.16: Разлика у концентрацији CO₂ (ppm) модела утицаја интензивних вегетационих кровова (RC+IN) у односу на модел постојећег стања (RC) – прикази на 1.5 m, 7.5 m и 17.5 m висине, попречном и подужном пресеку, 23.06. у 13:00 сати

Утицај вегетације, интензивне и екстензивне, у временима са највећим утицајем вегетације, у 7 сати ујутру и 1 сат ноћу, детаљно је приказан на сликама 6.17-6.22. Приказана је разлика у концентрацији CO₂ на висинама од 1.5, 7.5 и 17.5 метара, између базног модела са „црним“ кровом (модела постојећег стања) и развијеног модела са имплементираним интензивним вегетационим крововима.

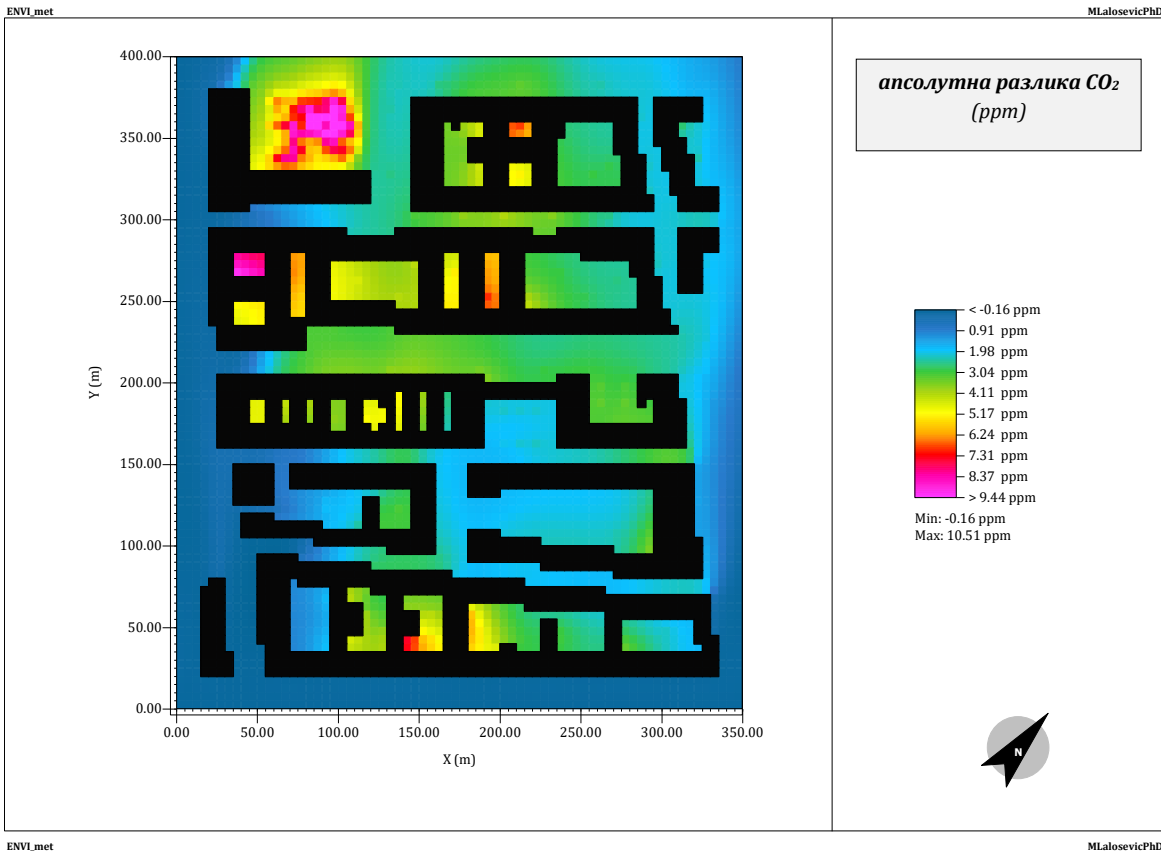
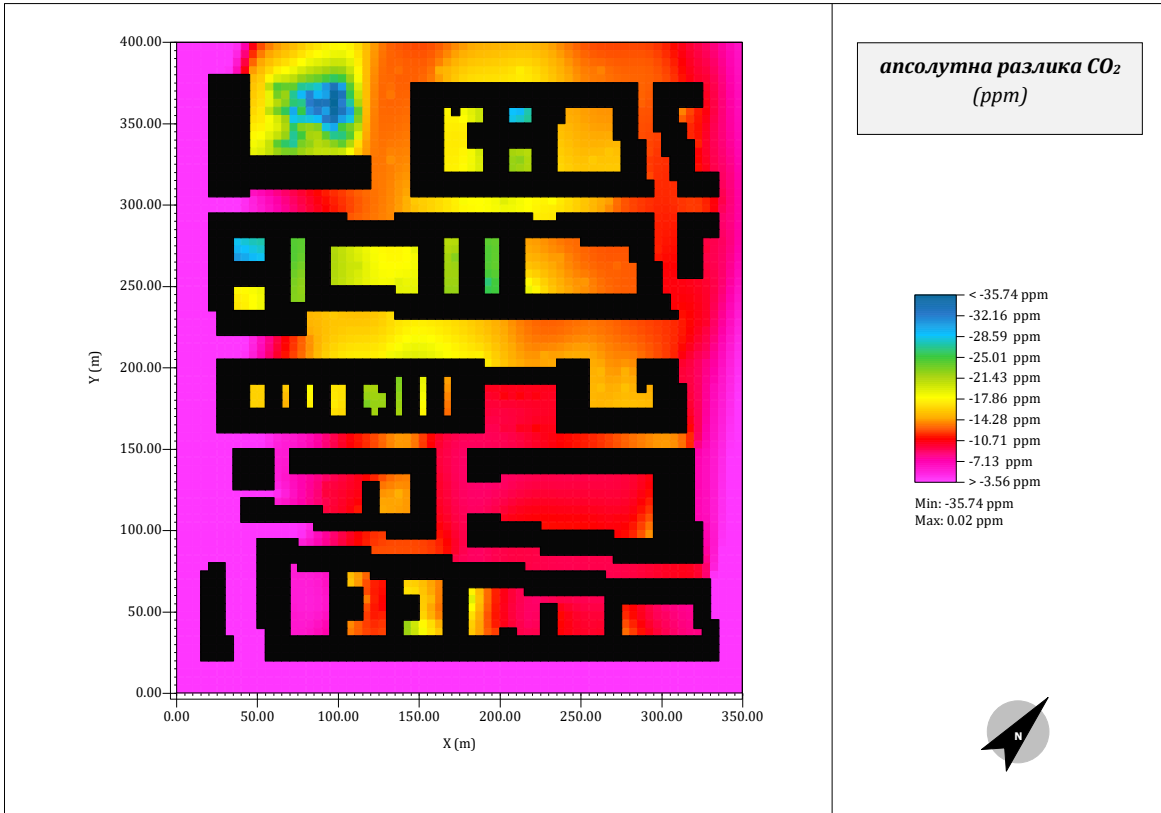
У 7 сати ујутру утицај интензивних зелених кровова осетан је посебно у унутрашњости стамбених блокова. Највећи је утицај на пресечној истраживаној висини од 7.5 m и уочљиво је да је снижење концентрације мање у деловима где су кровне равни на 20, 25 или 40 метара. Истраживање је рађено за типични летњи дан са благим ветром, па је ова разлика уочљива. Може се претпоставити да је у данима са већом брзином ветра мешање ваздуха израженије, што би довело до упросечавања снижења концентрације CO₂ у ваздуху около објеката.

У истраживаном случају са интензивним зеленим крововима редукција износи до максималних 44.81 ppm (до 11.47%) у односу на базни модел постојећег стања, што је и највећи потенцијални допринос добијен у овом истраживању. Просечно снижење концентрације за посматрану компарацију CO₂ износи 9.41 ppm, што је слично као код [39]. Просечни максимални допринос на нивоу од 7.5 метара од 9.41 ppm (2.30%) израчунат је математички, усредњавањем вредности концентрације CO₂ свих тачака у истраживаном пољу атмосфере на тој висини.

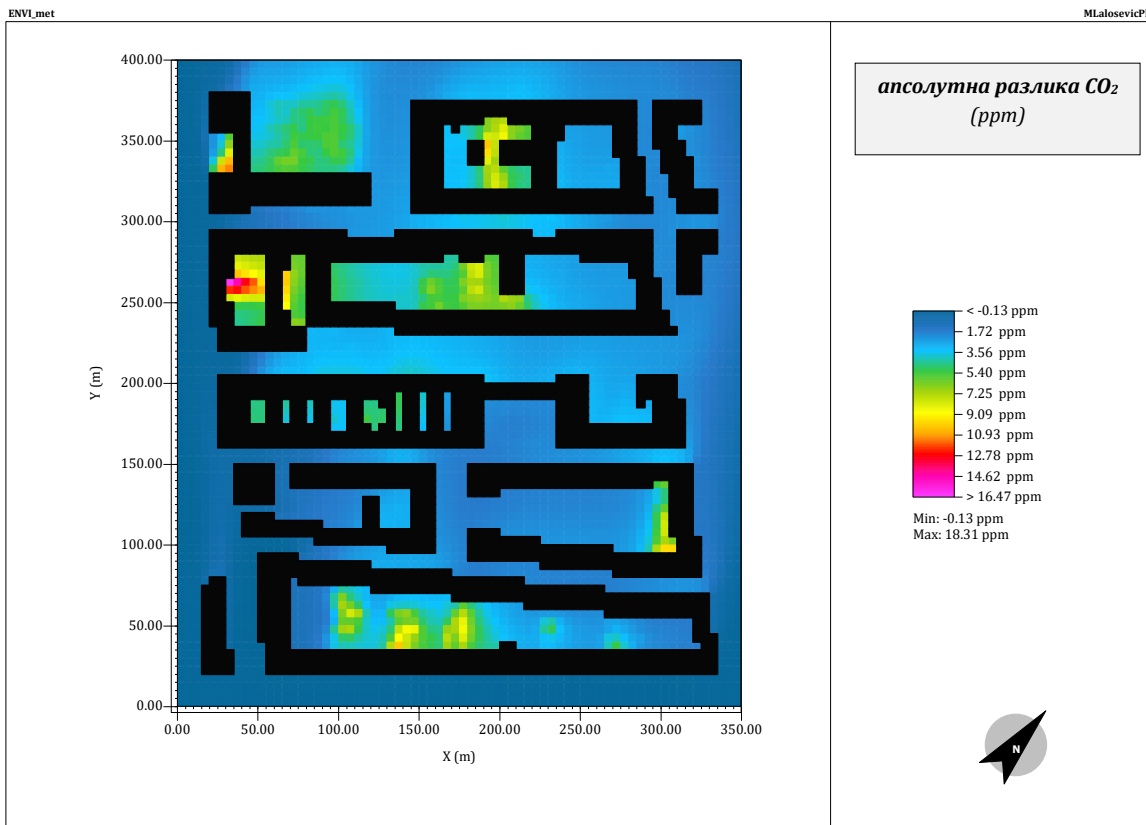
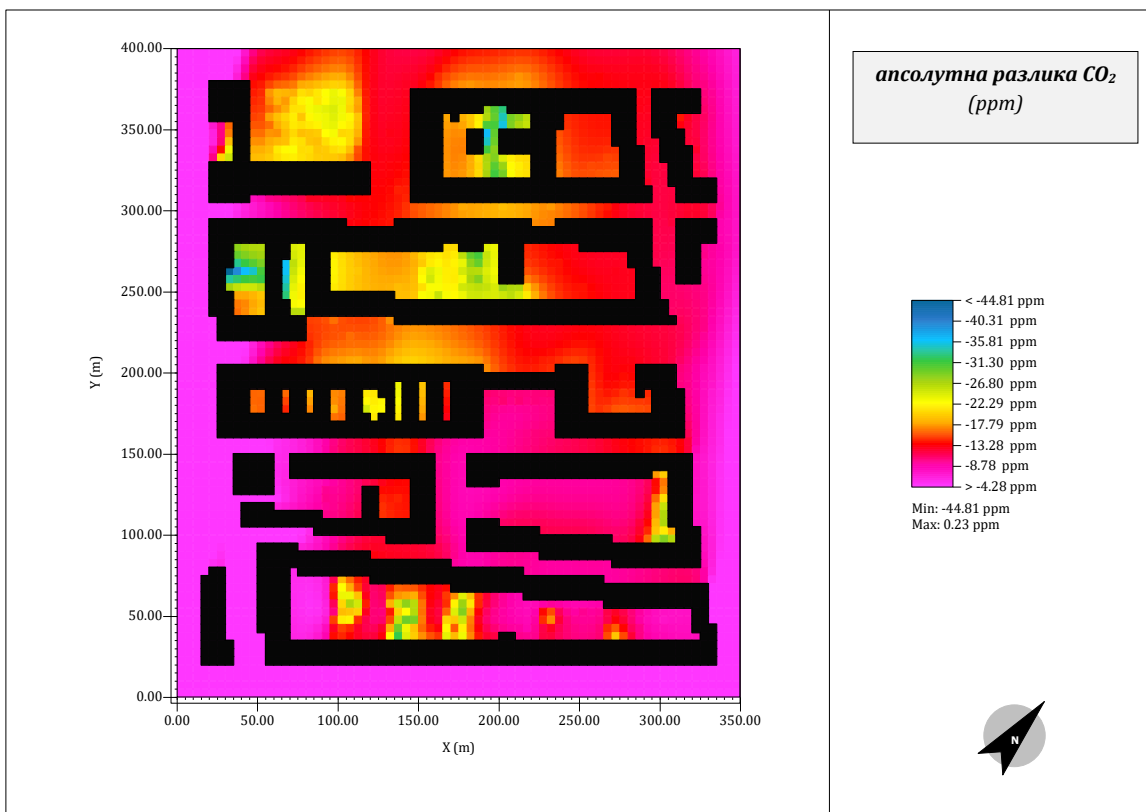
Као генерални закључак може се рећи да зелени кровови доприносе снижењу концентрације CO₂. Поред тога, закључује се да је највећи допринос снижењу CO₂ у самој близини зелених кровова. Концентрација CO₂ у близини зелених кровова значајно пада јер вегетација у завршном слоју кровних равни служи као апсорбер CO₂.

Вредности за ноћне сате, на свим пресечним висинама, приказују све већ описане процесе у временима када нема директне сунчеве светлости, када вегетација доприноси повећању концентрације CO₂. Услед већег доприноса снижењу CO₂ током дана него повећању ноћу, сматра се да је употреба зелених

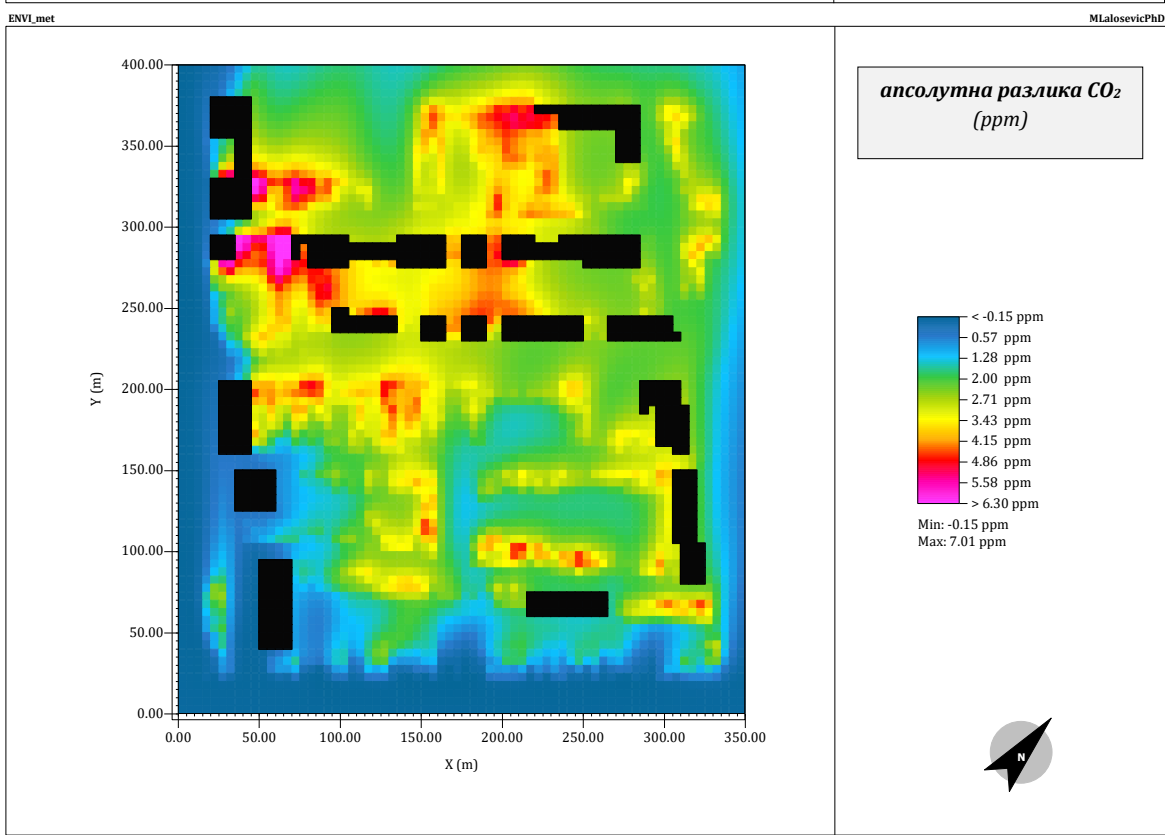
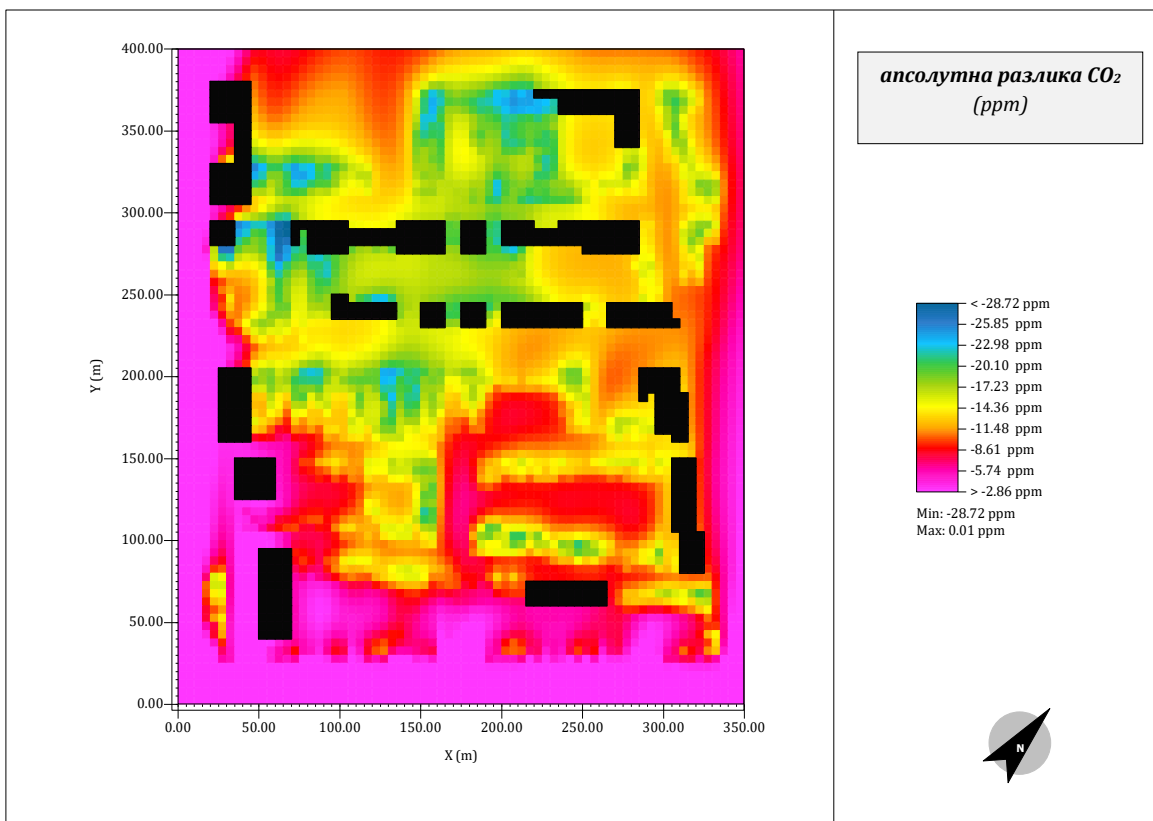
кровова користан алат у побољшању услова животне средине и адаптацији градова на климатске промене. Резултати овог истраживања то и квантификују.



Слике 6.17 и 6.18: Графички приказ разлика у концентрацији CO₂ (ppm) модела утицаја **интензивних вегетационих кровова (RC+IN)** у односу на модел постојећег стања (RC) – прикази на **1.5 m**, 23.06. у **7:00** сати (слика горе) и 24.06. у **1:00** сат (слика доле)



Слике 6.19 и 6.20: Графички приказ разлика у концентрацији CO₂ (ppm) модела утицаја **интензивних вегетационих кровова (RC+IN)** у односу на модел постојећег стања (RC) – прикази на **7.5 m**, 23.06. у **7:00** сати (слика горе) и 24.06. у **1:00** сат (слика доле)



Слике 6.21 и 6.22: Графички приказ разлика у концентрацији CO₂ (ppm) модела утицаја **интензивних вегетационих кровова (RC+IN)** у односу на модел постојећег стања (RC) – прикази на **17.5 m**, 23.06. у **7:00** сати (слика горе) и 24.06. у **1:00** сат (слика доле)

6.3 Поређење и валидација резултата истраживања

У оквиру овог поглавља је урађено поређење резултата истраживања снижења температуре ваздуха и концентрације CO₂ у ваздуху у урбаном окружењу добијених моделирањем са резултатима других аутора.

6.3.1 Температура ваздуха

У циљу верификације резултата добијених моделом у оквиру ове тезе извршено је поређење са резултатима модела и експерименталним резултатима других аутора. За поређење су изабрана два истраживања за која су рађене симулације модела и експерименти на терену, као и једно за које је рађено истраживање моделирањем. Истраживања су спроведена у сличном окружењу и типу градње као истраживање за Београд.

У студији случаја у Риму [74] анализиран је утицај зелених кровова на ублажавање ефекта урбаног топлотног острва. У истраживању је анализа ENVI-met моделовањем потврђена експерименталним мерењима. Резултати су показали снижавање вертикалног профила температуре ваздуха од 0.5°C ујутру и 0.3°C током ноћи инсталацијом екстензивних зелених кровова који су додати на постојеће зграде. Приметно је да нема разлике у температури ваздуха од стандардног до зеленог крова у 2 сата поподне када постоји максимално сунчево зрачење. У нашем случају, за Београд, вредности са имплементацијом екстензивних зелених кровова (Realcity+extensive green roof модел) имају сличан карактер промена.

Студија за Торонто [43][44] процењује различите стратегије ублажавања урбаног топлотног острва у три одабране градске целине у Торонту, селектоване према густини изграђености земљишта и висини објеката. Ефекти „хладних“ површина (на крововима, на уличним засторима или као површине под вегетацијом) истраживани су симулацијама помоћу софтвера ENVI-met. Рађене су различите комбинације утицаја и комбинација са свим наведеним варијантним решењима, а резултати су показали да су температуре летњег дана у подне, у већини подручја, на нивоу 1.8 m изнад земље ниже до максималних 0.75 °C и до 0.5 °C ноћу, и то синергијским утицајем свих неведених стратегија ублажавања урбаног топлотног острва, које аутори називају „cool city“.

Резултати комбинованих решења коришћених за Торонто имају сличан карактер као резултати Realcity+intensive green roof модела овог истраживања, а сам варијантни модел одговара Future+ моделу. Разлике се јављају услед различитих климатских услова Београда и Торонта.

Студија случаја у Хонг Конгу [51][115] имала је експериментално и теоријско истраживање. У првој фази истраживања урађено је мерење температура на локацији, на нивоу једне зграде, које је показало да експериментални екстензивни зелени кров може значајно побољшати микроклиму у близини зеленог крова и смањити потрошњу енергије зграде. У другој фази је урађено моделирање коришћењем ENVI-met и RayMan софтвера, за екстензивне и интензивне зелене кровове апликоване на све кровове у одабраним стамбеним подручјима. Резултати истраживања показали су да вегетација са кровова доприноси побољшању микроклиме читавог насеља, односно да се ефекат хлађења са кровова у испитиваним резиденцијалним четвртима може проширити на цело суседство. За типичан летњи дан, пет различитих градских локација са различитим урбаним формама има максималну варијацију температуре ваздуха на нивоу пешака употребом екстензивних кровова 0.4–0.7 °C, и интензивних 0.5–1.7 °C, са максималним ефектом у подручјима са ниским објектима, што генерално кореспондира постављеном моделу са интензивним вегетационим крововима овог истраживања. Фактори урбаног дизајна као што су висина зграде, растојање између објеката, покривеност локације објектима и њихова оријентација могу утицати на дневни, хоризонтални и вертикални модел „хладних острва“ створених зеленим крововима. Зелени кров такође може побољшати топлотни комфор на крову ублажавањем интензитета и трајања топлотног стреса. Налази такође сугеришу да компактни градови могу озеленети кровне просторе како би обезбедили термално комфорне рекреативне просторе за своје становнике.

6.3.2 Концентрација CO₂

Валидација резултата ENVI-met истраживања снижења концентрације CO₂ у ваздуху у урбаном окружењу урађена је поређењем са експерименталним подацима из других истраживања.

У доступној научној литератури нису пронађена истраживања ENVI-met моделирањем која би била поредива са резултатима постављеног система вегетационих кровова на постојећим објектима у урбаном окружењу.

У студији случаја Хонг Конг-а [39] аутори након постављеног експеримента закључују да је снижење концентрације CO_2 у околини зелених кровова значајно. Рад је експериментално проучио утицај зеленог крова на концентрацију CO_2 у амбијенту, као пример за процену бенефита увођења елемената зелене инфраструктуре у урбана подручја. Студија се састојала из три дела. Прво, направљено је експериментално мерење разлике концентрације CO_2 у средини биљака на зеленом крову и у ваздуху изнад оближњег црног, битуменског крова. Подаци показују да је просечно концентрација CO_2 изнад зеленог крова, типичног сунчаног дана са slabим ветром, била 12.9 g/m^3 нижа него на контролном крову током дана пре 16 часова поподне. У 17 сати нема никаквог доприноса, а незнатно је већа за време ноћи, до максималних 4.3 mg/m^3 . Резултати описаног експеримента не могу се директно упоредити, јер су мерења вршена у средини биљака и само на једном зеленом крову, не на систему зелених кровова. Међутим овај експеримент важан је за верификацију тенденција и односа доприноса снижењу концентрације CO_2 током дана и емисије CO_2 у периодима без сунчеве светлости. Тенденције и односи су исти код описаног експеримента као у случају истраживања у овој дисертацији. У другом делу, како би се даље проценио ефекат зелених кровова на концентрацију CO_2 у амбијенту, аутори су мерили CO_2 биљке у постављеној стакленој комори (*chamber*) у циљу конструисања детаљне криве брзине апсорпције односно емисије CO_2 . Резултат је да су утврђени детаљи и потврђене описане тенденције из првог дела експеримента. У трећем делу истраживања, аутори су радили моделирање коришћењем комерцијалног софтвера Fluent. Моделирани су ефекти зеленог крова у урбаним подручјима, а за моделирање су коришћени подаци из другог дела експеримента, на начин да су подаци брзине апсорпције односно емисије CO_2 једне биљке апликовани на подручје истраживаног крова у урбаном окружењу. Резултати симулације за сунчани летњи дан показали су да је концентрација CO_2 у околини око зеленог крова знатно пала. У зависности од интензитета ветра који олакшава мешање ваздуха, смањење концентрације CO_2

у околини зеленог крова достигло је 9.30%, што је у складу са резултатима добијеним у овој тези. У Београду су максималне вредности доприноса у јутарњим сатима са применом интензивних зелених кровова до 11.47%.

За југоисточни Техеран [64] спроведено је експериментално истраживање које је имало за циљ да се утврди ефекат екстензивних зелених кровова на микроклиматске услове и квалитет ваздуха. Изабране су две суседне зграде, истих карактеристика и типа изградње, али са различитим кровним покривачима: једна је имала битумен у завршном слоју, док је друга била покривена екстензивном вегетацијом. Мерена је температура ваздуха, релативна влажност и концентрација угљен-диоксида помоћу рецептора (*data loggers*) који су инсталирани на оба крова, у два различита стања, на начин да је постављен screen box и да су параметри мерени унутар и ван њега, у оба случаја. За типичан сунчани дан резултати показују да је просечна концентрација CO₂ изнад зеленог крова током анализираниог периода била у просеку 27.98 и 20.71 ppm нижа од референтног битуменског крова (унутар и ван screen box-а).

У овом истраживању доприноси су мањи за екстензивне зелене кровове (до 4.57 ppm), што се може објаснити двома чињеницама. Прва је да је концентрација CO₂ у наведеном експерименту мерена на 1 метар изнад површине крова, а у сопственом моделу претпостављена је на 2.5 метра. У експерименталном случају, где су параметри праћени на 1 метар изнад крова, односно изнад биљака, биљке су знатно ближе рецепторима па је концентрација CO₂ била нижа због непосредне близине биљака које су одговорне за секвестрацију угљеника, него на 2.5 метра. Такође, друга чињеница је да постоји битна разлика у климатским условима између југоисточног Техерана и Београда.

Након поређења експерименталних резултата из литературе и резултата развијених модела вегетационих кровова за климатске услове Београда закључује се да чак и ниско растиње у завршном слоју вегетационог крова доприноси снижењу садржаја CO₂ у ваздуху и побољшању услова животне средине.

7. ЗАКЉУЧАК

Због недостатка поузданих података за Београд у оквиру ове дисертације истражени су и објашњени ефекти примене система зелених кровова у климатским условима Београда на снижење температуре ваздуха и смањење емисије CO₂ у урбаном окружењу.

Истраживање је спроведено у два сегмента. У **првом сегменту** истражен је утицај система зелених кровова, екстензивних и интензивних, на умањење ефекта урбаног топлотног острва, уз додатно истраживање ефеката употребе материјала високих вредности албеда у јавним просторима на побољшање микроклиматских услова. Извршена су истраживања за четири изабране урбане целине у постојећим стамбеним блоковима у Београду које због својих специфичности репрезентују типичне моделе урбанистичког планирања и изградње делова територије града Београда. Осмишљен је и реализован модел постојећег стања који је у каснијој евалуацији коришћен као базни модел, и 4 модела утицаја вегетационих кровова. За све моделе истражене су температурне промене на нивоу пешака и на нивоу крова у 7:00 h, 13:00 h, 19:00 h и 1:00 h типичног летњег дана у Београду.

Квантификација фактора утицаја на животну средину урбаних екстензивних и интензивних зелених кровова и материјала високих вредности албеда у типичним урбаним структурама у Београду (BGD01, BGD02, BGD03, BGD04) истражена је уз помоћ научно утемељеног прогностичког софтверског микроклиматског модела ENVI-met.

У циљу истраживања ефеката примене вегетационих кровова на снижење температуре ваздуха у урбаним срединама истражена су 4 варијантна решења (RC+EX, RC+IN, F и F+) и упоређена са базним моделом (RC). Резултати моделирања показују да инсталација система зелених кровова у урбаним целинама може снизити температуру спољног ваздуха до 0.47 °C на нивоу пешака и 0.53 °C на нивоу крова употребом екстензивних зелених кровова (RC+EX), односно до 1.51 °C на нивоу пешака и до 1.45 °C на нивоу крова употребом интензивних зелених кровова (RC+IN). Реконструкцијом постојећих јавних површина и употребом материјала виших вредности албеда уз

инсталацију екстензивних зелених кровова (F) температура се потенцијално може смањити до 1.60 °C на нивоу пешака и 0.90 °C на нивоу крова. Максимални ефекат на умањење урбаног топлотног острва даје модел успостављања система интензивних зелених кровова уз употребу материјала са високим албедом (F+), што потенцијално снижава температуру у урбаним срединама до максималних 1.80 °C за ниво пешака и 1.45 °C за ниво кровних равни.

Просечно снижење температуре ваздуха на нивоу пешака у климатским условима Београда износи до 0.30 °C применом екстензивних зелених кровова, до 0.78 °C апликацијом интензивних зелених кровова, до 0.72 °C применом модела употребе материјала виших вредности албеда уз инсталацију екстензивних зелених кровова (F) и до 1.00 °C применом система интензивних зелених кровова уз употребу материјала са високим албедом (F+). Ефекат инсталације вегетационих кровова најизраженији је у јутарњим сатима (пресек 7 часова ујутру) док је комбиновани утицај вегетационих кровова и материјала повољних термичких карактеристика најизраженији у периодима директног сунчевог зрачења (пресек 13 часова).

На основу резултата истраживања модела закључује се да инсталација система зелених кровова на већој урбаној матрици, односно грађевинској целини доприноси снижењу спољашње температуре ваздуха. На овај начин ублажава се ефекат урбаног топлотног острва, побољшавају се услови животне средине, побољшавају се услови угодности становника и последично се смањује потрошња енергије за хлађење и проветравање објеката. Примена система зелених кровова у комбинацији са употребом хладних материјала у јавним просторима даје побољшане резултате у ублажавању ефекта урбаног топлотног острва.

Резултати модела показују да је за климатско подручје Београда употреба система зелених кровова једна од применљивих климатски одговорних решења урбаног дизајна, која доводи до ублажавања ефекта урбаног топлотног острва и стварања хладних острва у граду, за све типове урбаних структура. Променом постојећих материјала у јавним просторима (саобраћајнице, тротоари, тргови, игралишта, паркиралишта и сл.) доприноси се додатном снижењу спољне температуре ваздуха у урбаним подручјима.

Резултати моделирања верификовани су експерименталним и теоријским подацима из других истраживања.

У другом сегменту дисертације истражен је утицај смањења емисије CO₂ имплементацијом система зелених кровова у густо изграђеном урбаном подручју централне зоне Београда. Истражени су ефекти примене система екстензивних и интензивних зелених кровова у урбаном суседству велике густине изграђености, као пример за квантификацију њиховог ефекта на концентрацију CO₂.

Истраживање је урађено за локацију BGD03, која се налази на Врачару и која је репрезент често заступљеног типа изградње у Београду. Објекти на које се имплементирају зелени кровови су просечне висине 15 метара. У циљу истраживања утицаја постојеће изградње и потенцијалних модела реконструкције на емисију CO₂, развијени су базни модел – модел постојећег стања и два модела реконструкције имплементацијом вегетационих кровова (који подразумева постављање система екстензивних и интензивних зелених кровова на постојећим објектима из базног модела) и урађене су симулације концентрација CO₂ за све моделе. Истражене су промене у концентрацији CO₂ на висинама 1.5 m (ниво пешака), 7.5 m и 17.5 m у 7:00 h 13:00 h, 19:00 h и 01.00 h, типичног летњег дана у Београду. За потребе спровођења симулација модела коришћен је ENVI-met софтвер.

Основни модел, модел постојећег стања, садржи све релевантне карактеристике постојећег стања – положај, величину и облик зграда, положај и врсту вегетације, расподелу површинских материјала у јавним просторима, положај травнатих и земљаних површина – што репрезентује постојеће стање за истраживану локацију у центру Београда.

Модел постојећег стања, коришћен је као референца за упоређивање са варијантним решењима реконструкције применом вегетационих кровова, у којима су на свим зградама апликовани екстензивни или интензивни зелени кровови. Осим примене зелених кровова, други параметри модела нису мењани нити варирани.

Резултати симулација модела показују да се употребом интензивних зелених кровова уместо класичних „црних“ равних кровова у климатском подручју Београда емисија CO₂ смањује максимално до 44.81 ppm (до 11.47%), а просечно 9.41 ppm (2.30 %), на 7.5 m висине у јутарњим сатима, када је и најизраженији утицај вегетације. Максимални допринос екстензивних вегетационих кровова износи до 5.91 ppm (1.68%).

На нивоу пешака, 1.5 m, највећи потенцијални допринос екстензивних вегетационих кровова је снижење концентрације CO₂ у атмосфери до 5.27 ppm (1.50%) а интензивних до 35.74 ppm (9.16%).

Од истраживаних временских пресека највећи је допринос система вегетационих кровова у 7 сати ујутру, на свим пресечним висинама. У односу на истраживане висине од 1.5 m (ниво пешака), 7.5 m и 17.5 m најбољи резултати, односно највећи степен редукције је на 7.5 m.

Ово истраживање показало је да интензивни вегетациони кровови значајније снижавају концентрацију CO₂ у својој околини од екстензивних, на свим пресечним висинама типичног летњег дана у Београду.

Из овог истраживања може се закључити да би уградња зелених кровних система на већим урбаним матрицама и насељима допринела смањењу концентрације CO₂ у атмосфери.

Повећање површина зелених простора у урбаним срединама може допринети снижењу концентрације CO₂ у атмосфери. Како у градским центрима није лако пронаћи површине на којима је могуће засадити вегетацију, зелени кровови су решење које се може користити за допуну коришћења урбане вегетације у побољшању квалитета и контроли загађења ваздуха. У истраживаном случају инсталисање зелених кровова на постојећим објектима повећало би проценат зелених површина за 43%. У густо насељеним градским језгрима и изграђеним зонама, кровне површине су готово једини простори који се могу озеленити, чиме се пружа шанса да поједини делови градских подручја постану зелене оазе и делови зелене инфраструктуре у градовима које доприносе побољшању микроклиматских параметара и адаптацији градова на климатске промене.

Иновативни и одрживи приступи реконструкција у урбаним срединама могу се усвојити ради уклањања дела постојећих загађивача ваздуха, чиме се смањује концентрације загађења ваздуха. Један од начина за постизање тог циља је коришћење зелених кровова који смањују загађење ваздуха кроз микроклиматске ефекте.

Хипотезе постављене на почетку истраживања, доказане су током истраживачког процеса моделирањем:

- Инсталацијом система зелених кровова за климатско подручје Београда снижава се температура спољног ваздуха, односно ублажава ефекат урбаног топлотног острва у изграђеним градским целинама.
- Употребом система вегетационих кровова за климатско подручје Београда снижава се концентрација CO₂ у ваздуху у урбаним срединама.
- Ефекат инсталације система зелених кровова на снижење температуре осећа се у спољном окружењу код свих типова изградње. Значајније је снижење на нивоу пешака у зонама са објектима ниже висине него у подручјима са зградама високе спратности. На нивоу кровних равни ниво снижења температуре код свих типова изградње и спратности је исти или приближно исти.
- Употребом хладних материјала у материјализацији јавних површина (тротоари, саобраћајнице, игралишта, тргови...) снижава се температура ваздуха у спољној средини.
- Значајнији је утицај хладних материјала на нивоу пешака него на већим висинама.

Методологија осмишљена у овој дисертацији може се применити на друге градове и локације, у другачијим климатским условима.

Ово истраживање којим се аргументују позитивни термички и еколошки ефекти вегетационих кровова пружа научну основу и подршку разумевању употребе вегетационих кровова на постојећим и планираним грађевинским објектима, односно даје чврсту научну аргументацију за промоцију употребе зелених кровова пред академском заједницом, доносиоцима одлука, грађанима и инвеститорима, за климатске услове Београда.

Добијени резултати представљају научни доказ који указује на потенцијале примене природних елемената – вегетационог крова – у рехабилитацији и стварању атрактивних градова и урбаног развоја који је еколошки, економски и друштвено одржив. Такође доказују да овај метод може бити користан током процеса урбанистичког планирања и пројектовања зграда.

Примењена методологија је показала да употреба вегетационог крова може бити користан алат у ублажавању климатских промена, како локално тако и глобално.

За стамбени сектор у Републици Србији потребна је спрега академских, регулаторних, фискалних, информативних и тржишних инструмената и политика како би се промовисала енергетска реконструкција објеката, као и коришћење енергетски ефикасних технологија као што су вегетациони кровови.

Препоруке за **даља истраживања у области** могу се пре свега кретати у правцу истраживања енергетских уштеда условљених применом вегетационих кровова.

Додатно се може урадити *cost benefit* анализа последица употребе вегетационих кровова у климатском подручју Београда.

Поред тога може се истраживати утицај вегетационих кровова на физиолошку еквивалентну температуру становника (*physiological equivalent temperature - PET*), што је показатељ утицаја климатских промена на термални комфор људи (*human thermal comfort - HTC*). Побољшање овог показатеља један је од посебних доприноса употребе елемената зелене инфраструктуре у градовима, чији су зелени кровови саставни део.

Правац даљег истраживања може се односити и на проверу утицаја вегетационих кровова у климатским условима Београда у зимским месецима.

Такође, могуће је радити провере варијантних решења дизајна групација објеката са вегетационим крововима за поједине специфичне локације на којима се тек планира изградња, ради утврђивања најповољнијег решења, у фази припреме локација, што код великих стратешких националних пројеката у свету увелико пракса.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] S. Huttner, "Further development and application of the 3D microclimate simulation ENVI-met," *Ph. D. thesis*, Fachbereich Chemie, Pharmazie und Geowissenschaften der Johannes Gutenberg-Universität in Mainz, Mainz, Germany, 2012.
- [2] M. Bruse, "Die Auswirkungen kleinskaliger Umweltgestaltung auf das Mikroklima," *Ph. D. thesis*, Ruhr-Universität Bochum, Bochum, Germany, 1999.
- [3] I. Ozkeresteci, K. Crewe, A. J. Brazel, M. Bruse, "Use and Evaluation of the ENVI-met Model for Environmental Design and Planning: An Experiment on Linear Parks," *Proceedings of the 21st International Cartographic Conference (ICC), Cartographic Renaissance*, pp. 402–409, 2003.
- [4] Eurostat, "Energy balance sheets," Publications Office of the European Union, Luxembourg, European Union, 2016, DOI: 10.2785/795827
- [5] Ministry of Mining and Energy, Republic of Serbia, "Strategy for energy development in the Republic of Serbia until 2015 with projections until 2030 – Proposal", Belgrade, Serbia, 2015.
- [6] N. Cukovic Ignjatovic, "Optimisation of Refurbishment Measures for Residential Buildings in Order to Improve Energy Efficiency," *Ph. D. thesis*, University of Belgrade, Faculty of Architecture, Belgrade, Serbia, 2016.
- [7] G. Ngan, "Green Roof Policies: Tools for Encouraging Sustainable Design," Landscape Architecture Canada Foundation, Vancouver, Canada, 2004.
- [8] J. Yang, Q. Yu, P. Gong, "Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago," *Atmospheric Environment*, Vol. 42, No. 31, pp. 7266–7273, 2008.
- [9] O. Saadatian, K. Sopian, E. Salleh, C. H. Lim, S. Riffat, E. Saadatian, A. Toudeshki, M.Y Sulaiman, "A review of energy aspects of green roofs," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 23, pp. 155–168, 2013.
- [10] U. Berardi, A. Ghaffarian Hoseini, A. Ghaffarian Hoseini, "State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs," *Applied Energy*, Vol. 115, pp. 411–428, 2014.
- [11] K. Y. Liu and A. Baskaran, "Using Garden Roof Systems to Achieve Sustainable Building Envelopes," *Construction Technology Update*, Vol. 65, pp. 1–6, 2005.
- [12] A. B. Besir and E. Cuce, "Green roofs and facades: A comprehensive review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 82, No. October 2017, pp. 915–939, 2018.
- [13] J. S. MacIvor, L. Margolis, C. L. Puncher, B. J. Carver Matthews, "Decoupling factors affecting plant diversity and cover on extensive green roofs," *Journal of Environmental Management*, Vol. 130, pp. 297–305, 2013.

- [14] S. Dinsdale, B. Pearen, C. Wilson, "Feasibility Study for Green Roof Application on Queen's University Campus," no. April, p. 58, 2006.
- [15] A. J. Bates, J. P. Sadler, R. Mackay, "Vegetation development over four years on two green roofs in the UK," *Urban Forestry & Urban Greening*, Vol. 12, No. 1, pp. 98–108, 2013.
- [16] O. Schweitzer and E. Erell, "Evaluation of the energy performance and irrigation requirements of extensive green roofs in a water-scarce Mediterranean climate," *Energy and Buildings*, Vol. 68, No. PART A, pp. 25–32, 2014.
- [17] G. Peri, M. Traverso, M. Finkbeiner, G. Rizzo, "The cost of green roofs disposal in a life cycle perspective: Covering the gap," *Energy*, Vol. 48, No. 1, pp. 406–414, 2012.
- [18] H. F. Castleton, V. Stovin, S. B. M. Beck, J. B. Davison, "Green roofs; Building energy savings and the potential for retrofit," *Energy and Buildings*, Vol. 42, No. 10, pp. 1582–1591, 2010.
- [19] F. Ascione, N. Bianco, F. de' Rossi, G. Turni, G. P. Vanoli, "Green roofs in European climates. Are effective solutions for the energy savings in air-conditioning?," *Applied Energy*, Vol. 104, pp. 845–859, 2013.
- [20] K. Vijayaraghavan, "Green roofs: A critical review on the role of components, benefits, limitations and trends," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 57, pp. 740–752, 2016.
- [21] A. Nagase and N. Dunnett, "Drought tolerance in different vegetation types for extensive green roofs: Effects of watering and diversity," *Landscape and Urban Planning*, Vol. 97, No. 4, pp. 318–327, 2010.
- [22] P. Bevilacqua, D. Mazzeo, R. Bruno, N. Arcuri, "Experimental investigation of the thermal performances of an extensive green roof in the Mediterranean area," *Energy and Buildings*, Vol. 122, pp. 63–79, 2016.
- [23] A. Nagase and N. Dunnett, "The relationship between percentage of organic matter in substrate and plant growth in extensive green roofs," *Landscape and Urban Planning*, Vol. 103, no. 2, pp. 230–236, 2011.
- [24] D. Townshend, "Study on Green Roof Application in Hong Kong - Final Report," *Architectural Services Department*, pp. 1–157, 2007.
- [25] T. Brudermann and T. Sangkakool, "Green roofs in temperate climate cities in Europe – An analysis of key decision factors," *Urban Forestry and Urban Greening*, Vol. 21, pp. 224–234, 2017.
- [26] F. Bianchini and K. Hewage, "How 'green' are the green roofs? Lifecycle analysis of green roof materials," *Building and Environment*, Vol. 48, No. 1, pp. 57–65, 2012.

- [27] M. Karteris, I. Theodoridou, G. Mallinis, E. Tsiros, A. Karteris, "Towards a green sustainable strategy for Mediterranean cities: Assessing the benefits of large-scale green roofs implementation in Thessaloniki, Northern Greece, using environmental modelling, GIS and very high spatial resolution remote sensing data," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 58, pp. 510–525, 2016.
- [28] J. Coma, G. Pérez, C. Solé, A. Castell, L. F. Cabeza, "Thermal assessment of extensive green roofs as passive tool for energy savings in buildings," *Renewable Energy*, Vol. 85, pp. 1106–1115, 2016.
- [29] United States Environmental Protection Agency, "Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies," Climate Protection Partnership Division in the U.S. Environmental Protection Agency's Office of Atmospheric Programs, USA, pp. 1–23, 2008.
- [30] T. R. Oke, "Towards a more rational understanding of the urban heat island," *Department of Geography at McGill University*, pp. 1–20, 1969.
- [31] L. S. L. S. Rose, H. Akbari, H. Taha, "Characterizing the Fabric of the Urban Environment: A Case Study of Greater Houston, Texas," *Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) Publication*, pp. 1–65, 2003.
- [32] M. Santamouris, "Heat Island Research in Europe: The State of the Art," *Advances in Building Energy Research*, Vol. 1, pp. 123–150, 2007.
- [33] T. R. Oke, "The energetic basis of the urban heat island," *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, Vol. 108, No. 455, pp. 1–24, 1982.
- [34] H. Akbari, M. Pomerantz, H. Taha, "Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas," *Solar Energy*, Vol. 70, No. 3, pp. 295–310, 2001.
- [35] H. Takebayashi and M. Moriyama, "Study on the urban heat island mitigation effect achieved by converting to grass-covered parking," *Solar Energy*, Vol. 83, No. 8, pp. 1211–1223, 2009.
- [36] United Nations, *World Urbanization Prospects*, Vol. 12, 2014.
- [37] E. Alexandri and P. Jones, "Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates," *Building and Environment*, Vol. 43, No. 4, pp. 480–493, 2008.
- [38] M. Demuzere, K. Orru, O. Heidrich, E. Olayabal, D. Geneletti, H. Orru, A. G. Bhave, N. Mittal, E. Feliu, M. Faehnle, "Mitigating and adapting to climate change: Multi-functional and multi-scale assessment of green urban infrastructure," *Journal of Environmental Management*, Vol. 146, pp. 107–115, 2014.
- [39] J. Li, O. W. H. Wai, Y. S. Li, J. Zhan, Y. A. Ho, J. Li, E. Lam, "Effect of green roof on ambient CO₂ concentration," *Building and Environment*, Vol. 45, No. 12, pp. 2644–2651, 2010.

- [40] Asian Development Bank, “*Nature-Based Solutions for Building Resilience in Towns and Cities: Case Studies from the Greater Mekong Subregion*,” Asian Development Bank, 2016.
- [41] European Commission, “Green Infrastructure - Enhancing Europe’s Natural Capital,” European Environment Agency, pp. 1–11, 2013.
- [42] M. Santamouris, “Cooling the cities - A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments,” *Solar Energy*, Vol. 103, pp. 682–703, 2014.
- [43] Y. Wang, U. Berardi, H. Akbari, “Comparing the effects of urban heat island mitigation strategies for Toronto, Canada,” *Energy and Buildings*, Vol. 114, pp. 2–19, 2016.
- [44] Y. Wang, U. Berardi, H. Akbari, “The Urban Heat Island Effect in the City of Toronto,” *Procedia Engineering*, Vol. 118, pp. 137–144, 2015.
- [45] D. Li, E. Bou-Zeid, M. Oppenheimer, “The effectiveness of cool and green roofs as urban heat island mitigation strategies,” *Environmental Research Letters*, Vol. 9, No. 5, p. 055002 (16 pp), 2014.
- [46] A. Aflaki, M. Mirnezhad, A. Ghaffarianhoseini, A. Ghaffarianhoseini, H. Omrany, H. Akbari, “Urban heat island mitigation strategies: A state-of-the-art review on Kuala Lumpur, Singapore and Hong Kong,” *Cities*, Vol. 62, pp. 131–145, 2017.
- [47] V. Tsilini, S. Papantoniou, D. D. Kolokotsa, E. A. Maria, “Urban gardens as a solution to energy poverty and urban heat island,” *Sustainable Cities and Society*, Vol. 14, pp. 323–333, 2015.
- [48] M. Razzaghmanesh, S. Beecham, T. Salemi, “The role of green roofs in mitigating Urban Heat Island effects in the metropolitan area of Adelaide, South Australia,” *Urban Forestry and Urban Greening*, Vol. 15, pp. 89–102, 2016.
- [49] A. M. Coutts, E. Daly, J. Beringer, N. J. Tapper, “Assessing practical measures to reduce urban heat: Green and cool roofs,” *Building and Environment*, Vol. 70, pp. 266–276, 2013.
- [50] S. Lehmann, “Low carbon districts: Mitigating the urban heat island with green roof infrastructure,” *City, Culture and Society*, Vol. 5, No. 1, pp. 1–8, 2014.
- [51] L. L. H. Peng and C. Y. Jim, “Green-roof effects on neighborhood microclimate and human thermal sensation,” *Energies*, Vol. 6, No. 2, pp. 598–618, 2013.
- [52] C. Rosenzweig, W. Solecki, R. Slosberg, “Mitigating New York City’s heat island with urban forestry, living roofs, and light surfaces,” *Proceedings of the 86th AMS Annual Meeting*, p. 5, 2006.
- [53] D. Kolokotsa, M. Santamouris, S. C. Zerefos, “Green and cool roofs’ urban heat island mitigation potential in European climates for office buildings under free floating conditions,” *Solar Energy*, Vol. 95, pp. 118–130, 2013.

- [54] C. Georgakis, S. Zoras, M. Santamouris, "Studying the effect of "cool" coatings in street urban canyons and its potential as a heat island mitigation technique," *Sustainable Cities Society*, Vol. 13, pp. 20–31, 2014.
- [55] M. Santamouris, A. Synnefa, T. Karlessi, "Using advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions," *Solar Energy*, Vol. 85, No. 12, pp. 3085–3102, 2011.
- [56] M. Santamouris, "Using cool pavements as a mitigation strategy to fight urban heat island - A review of the actual developments," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 26, pp. 224–240, 2013.
- [57] J. G. Carter, G. Cavan, A. Connelly, S. Guy, J. Handley, A. Kazmierczak, "Climate change and the city: Building capacity for urban adaptation," *Progress in Planning*, Vol. 95, pp. 1–66, 2015.
- [58] C. de Munck, A. Lemonsu, V. Masson, J. Le Bras, M. Bonhomme, "Evaluating the impacts of greening scenarios on thermal comfort and energy and water consumptions for adapting Paris city to climate change," *Urban Climate*, Vol. 23, pp. 260–286, 2018.
- [59] R. Emmanuel and A. Loconsole, "Green infrastructure as an adaptation approach to tackling urban overheating in the Glasgow Clyde Valley Region, UK," *Landscape and Urban Planning*, Vol. 138, pp. 71–86, 2015.
- [60] D. B. Rowe, "Green roofs as a means of pollution abatement," *Environmental Pollution*, Vol. 159, No. 8–9, pp. 2100–2110, 2011.
- [61] Y. Hirano and T. Fujita, "Simulating the CO₂ reduction caused by decreasing the air conditioning load in an urban area," *Energy and Buildings*, Vol. 114, pp. 87–95, 2016.
- [62] T. Xu, J. Sathaye, H. Akbari, V. Garg, S. Tetali, "Quantifying the direct benefits of cool roofs in an urban setting: Reduced cooling energy use and lowered greenhouse gas emissions," *Building and Environment*, Vol. 48, No. 1, pp. 1–6, 2012.
- [63] Y. Li and R. W. Babcock, "Green roofs against pollution and climate change. A review," *Agronomy for Sustainable Development*, Vol. 34, No. 4, pp. 695–705, 2014.
- [64] M. Moghbel and R. Erfanian Salim, "Environmental benefits of green roofs on microclimate of Tehran with specific focus on air temperature, humidity and CO₂ content," *Urban Climate*, Vol. 20, pp. 46–58, 2017.
- [65] H. Agra, T. Klein, A. Vasl, G. Kadas, L. Blaustein, "Measuring the effect of plant-community composition on carbon fixation on green roofs," *Urban Forestry and Urban Greening*, Vol. 24, pp. 1–4, 2017.
- [66] A. H. Rosenfeld, H. Akbari, J. J. Romm, M. Pomerantz, "Cool communities: Strategies for heat island mitigation and smog reduction," *Energy and Buildings*, Vol. 28, No. 1, pp. 51–62, 1998.

- [67] S. S. Moody and D. J. Sailor, "Development and application of a building energy performance metric for green roof systems," *Energy and Buildings*, Vol. 60, pp. 262–269, 2013.
- [68] G. Virk, A. Jansz, A. Mavrogianni, A. Mylona, J. Stocker, M. Davies, "Microclimatic effects of green and cool roofs in London and their impacts on energy use for a typical office building," *Energy and Buildings*, Vol. 88, pp. 214–228, 2015.
- [69] C. M. Silva, M. G. Gomes, M. Silva, "Green roofs energy performance in Mediterranean climate," *Energy and Buildings*, Vol. 116, pp. 318–325, 2016.
- [70] P. Karachaliou, M. Santamouris, H. Pangalou, "Experimental and numerical analysis of the energy performance of a large scale intensive green roof system installed on an office building in Athens," *Energy and Buildings*, Vol. 114, pp. 256–264, 2016.
- [71] M. Foustalieraki, M. N. Assimakopoulos, M. Santamouris, H. Pangalou, "Energy performance of a medium scale green roof system installed on a commercial building using numerical and experimental data recorded during the cold period of the year," *Energy and Buildings*, Vol. 135, pp. 33–38, 2016.
- [72] M. Taleghani, L. Kleerekoper, M. Tenpierik, A. Van Den Dobbelsteen, "Outdoor thermal comfort within five different urban forms in the Netherlands," *Building and Environment*, Vol. 83, pp. 65–78, 2015.
- [73] J. Terés-Zubiaga, A. Campos-Celador, I. González-Pino, C. Escudero-Revilla, "Energy and economic assessment of the envelope retrofitting in residential buildings in Northern Spain," *Energy and Buildings*, Vol. 86, pp. 194–202, 2015.
- [74] G. Battista, E. M. Pastore, L. Mauri, C. Basilicata, "Green Roof Effects in a Case Study of Rome (Italy)," *Energy Procedia*, Vol. 101, No. September, pp. 1058–1063, 2016.
- [75] L. Pastore, R. Corrao, P. K. Heiselberg, "The effects of vegetation on indoor thermal comfort: the application of a multi-scale simulation methodology on a residential neighborhood renovation case study," *Energy and Buildings*, Vol. 146, pp. 1–11, 2017.
- [76] D. Ambrosini, G. Galli, B. Mancini, I. Nardi, S. Sfarra, "Evaluating mitigation effects of urban heat islands in a historical small center with the ENVI-Met (R) climate model," *Sustainability*, Vol. 6, No. 10, pp. 7013–7029, 2014.
- [77] V. Costanzo, G. Evola, L. Marletta, "Energy savings in buildings or UHI mitigation? Comparison between green roofs and cool roofs," *Energy and Buildings*, Vol. 114, pp. 247–255, 2016.
- [78] L. L. H. Peng and C. Y. Jim, "Economic evaluation of green-roof environmental benefits in the context of climate change: The case of Hong Kong," *Urban Forestry & Urban Greening*, Vol. 14, No. 3, pp. 554–561, 2015.

- [79] T. Shen, D. H. C. Chow, J. Darkwa, "Simulating the influence of microclimatic design on mitigating the urban heat island effect in the Hangzhou metropolitan area of China," *International Journal of Low-Carbon Technologies*, Vol. 11, No. 1, pp. 130–139, 2014.
- [80] X. Yang, L. Zhao, M. Bruse, Q. Meng, "An integrated simulation method for building energy performance assessment in urban environments," *Energy and Buildings*, Vol. 54, pp. 243–251, 2012.
- [81] I. Jaffal, S. Ouldboukhitine, R. Belarbi, "A comprehensive study of the impact of green roofs on building energy performance," *Renewable Energy*, Vol. 43, pp. 157–164, 2012.
- [82] "Pravilnik o energetskej efikasnosti zgrada," *Službeni glasnik RS*, No. 61/2011, 2011.
- [83] C. H. Baek and S. H. Park, "Changes in renovation policies in the era of sustainability," *Energy and Buildings*, Vol. 47, pp. 485–496, 2012.
- [84] J. K. W. Wong and L. S. K. Lau, "From the 'urban heat island' to the 'green island'? A preliminary investigation into the potential of retrofitting green roofs in Mongkok district of Hong Kong," *Habitat International*, Vol. 39, pp. 25–35, 2013.
- [85] D. Ignjatovic, "Estimation od Residential Building Envelopes' Energy Performance Using the Infrared Thermography Method," *Ph. D. thesis*, University of Belgrade, Faculty of Architecture, Belgrade, Serbia, 2015.
- [86] I. Simic, "The Possibilities for Improvement of Urban Form Resilience to Climate Change," *Ph. D. thesis*, University of Belgrade, Faculty of Architecture, Belgrade, Serbia, 2016.
- [87] B. Vucicevic, V. Turanjanin, V. Bakic, M. Jovanovic, Z. Stevanovic, "Experimental and Numerical Modelling of Thermal Performance of a Residential Building in Belgrade," *Thermal Science*, Vol. 13, No. 4, pp. 245–252, 2009.
- [88] V. Turanjanin, B. Vucicevic, M. Jovanovic, "Different Heating Systems for Single Family House - Energy and Economic Analysis," *Thermal Science*, Vol. 20, pp. 309–320, 2016.
- [89] S. W. Peck, C. Callaghan, "Greenbacks from green roofs: Forging a new industry in Canada status report on benefits, barriers and opportunities for green roof and vertical garden technology diffusion - Final Report," *Canada Mortgage and Housing Corporation (CMHC)*, March, 1999.
- [90] EFB - European Federation Green Roofs and Walls, "2015 White Paper," 2015.
- [91] International Green Roof Association, "Green Roof News," 2015.
- [92] GRHC - Green Roofs for Healthy Cities, "How Your Community Will Benefit From Adopting Green Roof Policy," *Green Roofs for Healthy Cities - North America Inc.* Toronto, Canada, 2015.

- [93] M. Xiao, Y. Lin, J. Han, G. Zhang, "A review of green roof research and development in China," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 40, pp. 633–648, 2014.
- [94] K. R. Smith and P. J. Roebber, "Green roof mitigation potential for a proxy future climate scenario in Chicago, Illinois," *American Meteorological Society*, Vol. 50, No. 3, pp. 507–522, 2011.
- [95] H. Chen, R. Ooka, H. Huang, T. Tsuchiya, "Study on mitigation measures for outdoor thermal environment on present urban blocks in Tokyo using coupled simulation," *Building and Environment*, Vol. 44, No. 11, pp. 2290–2299, 2009.
- [96] E. Ng, L. Chen, Y. Wang, C. Yuan, "A study on the cooling effects of greening in a high-density city: An experience from Hong Kong," *Building and Environment*, Vol. 47, No. 1, pp. 256–271, 2012.
- [97] S. Chen Yi, L. Kuei Peng, L. Tzu Ping, L. Soen Han, "Vegetation as a material of roof and city to cool down the temperature," *Advanced Materials Research*, Vol. 461, pp. 552–556, 2012.
- [98] N. H. Wong, Y. Chen, C. L. Ong, A. Sia, "Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment," *Building and Environment*, Vol. 38, No. 2, pp. 261–270, 2003.
- [99] J. Heusinger and S. Weber, "Extensive green roof CO₂ exchange and its seasonal variation quantified by eddy covariance measurements," *Science of the Total Environment*, Vol. 607–608, pp. 623–632, 2017.
- [100] M. Bruse and C. J. Skinner, "Rooftop greening and local climate: a case study in Melbourne," *Proceedings*, 15th International Congress of Biometeorology and International Conference on Urban Climatology, Sydney, Australia, pp. 21–25, 1999.
- [101] S. Ramesh and K. P. Lam, "Urban energy information modeling – a framework for coupling macro-micro factors affecting building energy consumption," *Proceedings*, BS 2015 - 14th International IBPSA Conference, Hyderabad, India, pp. 601–608, 2015.
- [102] R. Djedjig, E. Bozonnet, R. Belarbi, "Analysis of thermal effects of vegetated envelopes: Integration of a validated model in a building energy simulation program," *Energy and Buildings*, Vol. 86, pp. 93–103, 2014.
- [103] A. Gros, E. Bozonnet, C. Inard, M. Musy, "Simulation tools to assess microclimate and building energy - A case study on the design of a new district," *Energy and Buildings*, Vol. 114, pp. 112–122, 2016.
- [104] A. Okeil, "A holistic approach to energy efficient building forms," *Energy and Buildings*, Vol. 42, No. 9, pp. 1437–1444, 2010.

- [105] H. Simon, "Development, implementation and evaluation of new and improved calculation methods for the urban microclimate model ENVI-met," *Ph. D. thesis*, Fachbereich Chemie, Pharmazie und Geowissenschaften der Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Mainz, Germany, 2016.
- [106] M. Bruse and H. Fleer, "Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model," *Environmental modelling & software*, Vol. 13, No. 3-4, pp. 373-384, 1998.
- [107] Y. Chen and N. H. Wong, "Thermal benefits of city parks," *Energy and Buildings*, Vol. 38, No. 2, pp. 105-120, 2006.
- [108] A. Fazia and H. Mayer, "Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate," *Building and Environment*, Vol. 41, No. 2, pp. 94-108, 2006.
- [109] E. Lahme and M. Bruse, "Microclimatic effects of a small urban park in a densely build up area: measurements and model simulations," *Proceedings*, Fifth International Conference on Urban Climate, ICUC-5, Lodz, Poland, 2003.
- [110] B. C. Hedquist, A. J. Brazel, S. Di Sabatino, W. Carter, H. J. S. Fernando, "Phoenix urban heat island experiment: micrometeorological aspects," *Proceedings*, Eighth Symposium on the Urban Environment, Phoenix, USA, p. J12.2., 2009.
- [111] E. L. Krüger, F. O. Minella, F. Rasia, "Impact of urban geometry on outdoor thermal comfort and air quality from field measurements in Curitiba, Brazil," *Building and Environment*, Vol. 46, No. 3, pp. 621-634, 2011.
- [112] Institute of Public Health of Belgrade, "Environmental Atlas of Belgrade," Belgrade Land Development Public Agency, Belgrade, Serbia, 2002.
- [113] U. Berardi, "The outdoor microclimate benefits and energy saving resulting from green roofs retrofits," *Energy and Buildings*, Vol. 121, pp. 217-229, 2016.
- [114] R. Anguluri and P. Narayanan, "Role of green space in urban planning: Outlook towards smart cities," *Urban Forestry & Urban Greening*, Vol. 25, No. April, pp. 58-65, 2017.
- [115] L. Peng, "Green-Roof Thermal Effects in the Context of Climate Change and Sustainable Urban Design," *Ph. D. thesis*, The University of Hong Kong, Hong Kong, China, 2012.
- [116] J. S. MacIvor, L. Margolis, M. Perotto, J. A. P. Drake, "Air temperature cooling by extensive green roofs in Toronto Canada," *Ecological Engineering*, Vol. 95, pp. 36-42, 2016.

БИОГРАФИЈА АУТОРА

Марија Д. Лалошевић рођена је 1968. у Београду. Гимназију (природни смер) завршила је 1987. у Панчеву. Дипломирала је на Архитектонском факултету Универзитета у Београду 1995. године код проф. А. Стјепановића. Током студија определила се за усмерење *Биоклиматска архитектура* код проф. др М. Јовановић Поповић, када отпочиње са изучавањем *зелене архитектуре* и одрживих модела развоја градова.

Положила је стручни испит 1998. године. Од 2003. поседује професионалне лиценце *Одговорног пројектанта* и *Одговорног урбанисте*. Лиценцу *Одговорног инжењера енергетске ефикасности зграда* стекла је 2013. године.

У периоду 1995-2008. радила је у *ЈП Дирекција за изградњу и уређење Панчева*, где је потписник најважнијих урбанистичких развојних докумената, планова и пројеката. Током година уз лично усавршавање и професионално сазревање изградила се и као руководилац. Професионална знатижеља води је у *ЈУП Урбанистички завод Београда*, где од 2008. године у оквиру *Сектора за стратешко планирање и развој* ради на изради најсложенијих стратешких планова и студија за град Београд. Осмишљава методологије и одговорна је за процес припреме, израде и координације решења планова, пројеката, студија и анализа којима руководи. Иницира и реализује стручна предавања и изложбе.

Активни је члан струковних организација, професионалних комисија, одбора. Дугогодишњи је уредник часописа ИНФО - Урбанистички завод Београда (ISSN 1451-5393). За свој професионални рад добитник је значајних награда у струци.

Докторске студије уписује 2012/13 године, од када се посвећено бави научно-истраживачким радом. Објавила је више научних радова у врхунским међународним часописима, ангажовано учествовала на бројним конференцијама и стручним тренинзима у земљи и иностранству.

Прилог 1.

Изјава о ауторству

Потписани-а Марија Лалошевић

број индекса Д30/2012

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

СНИЖЕЊЕ ТЕМПЕРАТУРЕ ВАЗДУХА И КОНЦЕНТРАЦИЈЕ CO₂ У УРБАНИМ СРЕДИНАМА ПРИМЕНОМ ВЕГЕТАЦИОНИХ КРОВОВА

- резултат сопственог истраживачког рада,
- да предложена дисертација у целини ни у деловима није била предложена за добијање било које дипломе према студијским програмима других високошколских установа,
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

Потпис докторанда

У Београду, _____

Прилог 2.

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора Марија Лалошевић
Број индекса Д30/2012
Студијски програм
Наслов рада **СНИЖЕЊЕ ТЕМПЕРАТУРЕ ВАЗДУХА И
КОНЦЕНТРАЦИЈЕ CO₂ У УРБАНИМ СРЕДИНАМА
ПРИМЕНОМ ВЕГЕТАЦИОНИХ КРОВОВА**
Ментор Проф. др Мирко Коматина
Потписани/а _____

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла за објављивање на порталу **Дигиталног репозиторијума Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског звања 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 докторанда

У Београду, _____

Прилог 3.

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

СНИЖЕЊЕ ТЕМПЕРАТУРЕ ВАЗДУХА И КОНЦЕНТРАЦИЈЕ CO₂ У УРБАНИМ СРЕДИНАМА ПРИМЕНОМ ВЕГЕТАЦИОНИХ КРОВОВА

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство

2. Ауторство - некомерцијално

3. Ауторство – некомерцијално – без прераде

4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима

5. Ауторство – без прераде

6. Ауторство – делити под истим условима

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци, кратак опис лиценци дат је на полеђини листа).

Потпис докторанда

У Београду, _____

1. Ауторство – Дозвољавање 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. Дозвољавање 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 прераде. Дозвољавање 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. Дозвољавање 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 прераде. Дозвољавање 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. Дозвољавање 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.