



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ

ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА



**УРБАНИСТИЧКО-  
АРХИТЕКТОНСКЕ МЕТОДЕ И  
МОДЕЛИ ЗАШТИТЕ ГРАДОВА ОД  
ЕМИСИЈЕ СУСПЕНДОВАНИХ  
ЧЕСТИЦА**  
ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА

Ментор:  
ред. проф. др Дарко Реба  
проф. емеритус др Мирјана Војиновић Милорадов

Кандидат:  
Миљан Шуњевић

Нови Сад, 2022. Године

## НАВЕСТИ НАЗИВ ФАКУЛТЕТА ИЛИ ЦЕНТРА

КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА<sup>1</sup>

Врста рада:	Докторска дисертација
Име и презиме аутора:	Миљан Шуљевић
Ментор (титула, име, презиме, звање, институција)	др Дарко Реба, редовни професор, Факултет техничких наука, УНС др Мирјана Војиновић Милорадов, професор емеритус, Факултет техничких наука, УНС
Наслов рада:	Урбанистичко-архитектонске методе и модели заштите градова од емисије суспендованих честица
Језик публикације (писмо):	Српски (ћирилица)
Физички опис рада:	Унети број: Страница <u>134</u> Поглавља <u>8</u> Референци <u>153</u> Табела <u>12</u> Слика <u>40</u> Графикона - Прилога -
Научна област:	Архитектура
Ужа научна област (научна дисциплина):	Конструкције, инсталације, екологија и грађење, Инжењерство заштите животне средине
Кључне речи / предметна одредница:	Суспендоване честице, митигација, емисија, мониторинг
Резиме на језику рада:	Почетак новог миленијума карактеришу процеси глобализације који стимулишу и катализују повећање антропогенних активности, што као резултат захтева висок ниво архитектонске урбанизације простора. Константан развој и урбанизација простора прати изражену миграцију људи из руралних у урбане средине, резултујући тако потребу и захтев за растом броја стамбених и пословних простора, и тиме њихову изградњу. Активности које се одвијају током архитектонских процеса и материјали који се користе утичу на загађење ваздуха, земљишта, водних тела и

- <sup>1</sup> Аутор докторске дисертације потписао је и приложио следеће Обрасце:
- 5б – Изјава о ауторству;
- 5в – Изјава о истоветности штампане и електронске верзије и о личним подацима;
- 5г – Изјава о коришћењу.

Ове Изјаве се чувају на факултету у штампаном и електронском облику и не кориче се са тезом.

	<p>стандарда комфора, вибрације, буке...</p> <p>XXI век на глобалном нивоу у први план доноси изазове заштите животне средине, где се издваја кључно питање загађења ваздуха као сфере са најмањим фокусом истраживања у току претходних деценија. Загађење ваздуха се посматра као глобална епидемија изазвана хемијским и биолошким агенсима, суспендованим честицама и другим контаминантима, што доводи до штетних утицаја на животну и изграђену средину и по здравље човека.</p> <p>Утицај који урбане трансформације и архитектонске активности имају на животно и изграђено окружење може изазвати веома хазардне ефекте и здравствене ризике. У архитектонској сфери као нове кључне загађујуће супстанце у животној средини – амбијенталном ваздуху, настале при урбаним трансформацијама, које имају јединствену способност да сорбују друге контаминанте на високо развијеној површини идентификоване су као суспендоване честице. Константан проблем појава високих концентрационих нивоа суспендованих честица у амбијенталном ваздуху архитектонског порекла, утицао је на развој мера и специфичних модела митигације. Истраживање у оквиру докторске дисертације прати генерисање, емисију и детекцију суспендованих честица архитектонског порекла на селектованим репрезентативним локацијама на примеру Новог Сада. Основни проблем истраживања поставља питање применљивости модела и метода превенције и митигације суспендованих честица на нивоу града Новог Сада и у Републици Србији.</p>
Датум прихватања теме од стране надлежног већа:	26.12.2019.
Датум одбране: (Попуњава одговарајућа служба)	
Чланови комисије: (титула, име, презиме, звање, институција)	Председник: др Милица Врачарић, редовни професор, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду Члан: др Богдана Вујић, редовни професор, Технички факултет „Михајло Пупин“ Зрењанин, Универзитет у Новом Саду Члан: др Владимир Рајс, ванредни професор, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду Члан: др Дејана Недучин, ванредни професор, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду Члан: др Дарко Реба, редовни професор, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду Ментор: др Мирјана Војиновић Милорадов, професор емеритус, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду
Напомена:	

KEY WORD DOCUMENTATION<sup>2</sup>

Document type:	Doctoral dissertation
Author:	Miljan Šunjević
Supervisor (title, first name, last name, position, institution)	dr Darko Reba, full professor, Faculty of Technical Sciences, UNS dr Mirjana Vojinović Miloradov, professor emeritus, Faculty of Technical Sciences, UNS
Thesis title:	Urban-architectural methods and models for the protection of cities from the emission of suspended particles
Language of text (script):	Serbian language (cyrillic)
Physical description:	Number of: Pages <u>134</u> Chapters <u>8</u> References <u>153</u> Tables <u>12</u> Illustrations <u>40</u> Graphs - Appendices -
Scientific field:	Architecture
Scientific subfield (scientific discipline):	Structures, installations, ecology and building, Environment Protection Engineering
Subject, Key words:	Suspended particles, mitigation, emission, monitoring
Abstract in English language:	The beginning of the new millennium is characterized by globalization processes that stimulate anthropogenic activities, which as a result request a high level of architectural urbanization of space. The necessity for constant development and urbanization is characterized by the distinct migration of people from rural to urban environments, thus creating the need and demand for the construction of the numerous residential and business objects. The activities during the architectural processes and the materials used affect the pollution of air, soil, water bodies and comfort standards (noise).  The 21 <sup>st</sup> century on a global level brought in the focus environmental

- 
- <sup>2</sup> The author of doctoral dissertation has signed the following Statements:
  - 5Ѓ – Statement on the authority,
  - 5B – Statement that the printed and e-version of doctoral dissertation are identical and about personal data,
  - 5Г – Statement on copyright licenses.

The paper and e-versions of Statements are held at the faculty and are not included into the printed thesis.

	<p>protection challenges, where the issue of air pollution stands out as the sphere with the least attention in previous decades. Air pollution is seen as a global pandemic caused by chemical and biological molecules, as well as suspended particles, leading to harmful effects on the environment and human health. The impact that urban transformations and architectural activities have on the living and built environment can cause very harmful effects and health risks. The key polluting substances in the environment created during urban transformations, which have the ability to sorb other polluting substances on their surface, are identified as suspended particles. The frequently occurring problem of suspended particles high concentrations in the ambient air of architectural origin impacted the development of mitigation measures and models. In order to ensure the measures effectiveness and models utilization for the reduction of suspended particles created during architectural transformations, regulations, laws and supplementary legal measures have been prepared as support. It is determined that the building generates and emits suspended particles throughout whole construction cycle. The research within the doctoral dissertation investigates the emission of suspended particles created during the architectural and urban transformations. The focal problems of the research are the possibilities for suspended particles prevention and mitigation models and methods applicability and utilization in the city of Novi Sad and in the Republic of Serbia.</p>
Accepted on Scientific Board on:	26.12.2019.
Defended: (Filled by the faculty service)	
Thesis Defend Board: (title, first name, last name, position, institution)	<p>President: dr Milica Vračarić, full profesor, Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad  Member: dr Bogdana Vujić, full profesor, Technical Faculty „Mihajlo Pupin“ Zrenjanin, University of Novi Sad  Member: dr Vladimir Rajs, associate professor, Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad  Member: dr Dejana Nedučin, associate professor, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu  Member: dr Darko Reba, full profesor, Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad  Member: dr Mirjana Vojinović Miloradov, profesor emeritus, Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad</p>
Note:	

## Захвалница

*Захваљујем се ментору професору др Дарку Реби на пруженој помоћи, смерницама и уложеном труду приликом израде докторске дисертације.*

*Посебну захвалност дугујем менторки др Мирјани Војиновић Милорадов, професору емеритусу на мајчинској љубави, саветима и помоћи коју је пружала и пружа свих ових година, без које ова дисертација не би била могућа. Драга професорка, радујем се будућим изазовима!*

*Професорима др Богдани Вујић и др Владимиру Рајсу захваљујем на техничкој подршци, саветима и пруженој помоћи у изради дисертације и развоју истраживања.*

*Пријатељу Миловану Нинкову, хвала на подршци и помоћи у обради података и математичких модела садржаних у дисертацији.*

*Захваљујем се свим колегама са Департмана за инжењерство заштите животне средине и заштите на раду, а посебно колеги Борису Обровском на колегијалној помоћи и подршци током израде дисертације.*

*Резултати приказани у докторској дисертацији проистекли су из истраживања у оквиру пројекта Министарства просвете, науке и технолошког развоја под називом “Развој метода, сензора и система за мониторинг квалитета воде, ваздуха и земљишта” (евиденциони број пројекта ИИИ 43008).*

*Хвала мојој породици што су били ослонац и подршка на целом овом путу.*

*Посебно хвала мојој драгој жени Милени, на подршци, љубави, стрпљењу и разумевању.*

*„Свако путовање почиње првим кораком“  
Посвећено оцу и деди.*

## РЕЗИМЕ

Почетак новог миленијума карактеришу процеси глобализације који стимулишу и катализују повећање антропогених активности, што као резултат захтева висок ниво архитектонске урбанизације простора. Константан развој и урбанизација простора прати изражену миграцију људи из руралних у урбане средине, резултујући тако потребу и захтев за растом броја стамбених и пословних простора, и тиме њихову изградњу. Активности које се одвијају током архитектонских процеса и материјали који се користе утичу на загађење ваздуха, земљишта, водних тела и стандарда комфора, вибрације, буке...

XXI век на глобалном нивоу у први план доноси изазове заштите животне средине, где се издваја кључно питање загађења ваздуха као сфере са најмањим фокусом истраживања у току претходних деценија. Загађење ваздуха се посматра као глобална епидемија изазвана хемијским и биолошким агенсима, суспендованим честицама и другим контаминантима, што доводи до штетних утицаја на животну и изграђену средину и по здравље човека.

Утицај који урбане трансформације и архитектонске активности имају на животно и изграђено окружење може изазвати веома хазардне ефекте и здравствене ризике. У архитектонској сфери као нове кључне загађујуће супстанце у животној средини – амбијенталном ваздуху, настале при урбаним трансформацијама, које имају јединствену способност да сорбују друге контаминанте на високо развијеној површини идентификоване су као суспендоване честице. Константан проблем појава високих концентрационих нивоа суспендованих честица у амбијенталном ваздуху архитектонског порекла, утицао је на развој мера и специфичних модела митигације. Истраживање у оквиру докторске дисертације прати генерисање, емисију и детекцију суспендованих честица архитектонског порекла на селектованим репрезентативним локацијама на примеру Новог Сада. Основни проблем истраживања поставља питање применљивости модела и метода превенције и митигације суспендованих честица на нивоу града Новог Сада и у Републици Србији.

## **ABSTRACT**

The beginning of the new millennium is characterized by globalization processes that stimulate anthropogenic activities, which as a result request a high level of architectural urbanization of space. The necessity for constant development and urbanization is characterized by the distinct migration of people from rural to urban environments, thus creating the need and demand for the construction of the numerous residential and business objects. The activities during the architectural processes and the materials used affect the pollution of air, soil, water bodies and comfort standards (noise).

The 21<sup>st</sup> century on a global level brought in the focus environmental protection challenges, where the issue of air pollution stands out as the sphere with the least attention in previous decades. Air pollution is seen as a global pandemic caused by chemical and biological molecules, as well as suspended particles, leading to harmful effects on the environment and human health. The impact that urban transformations and architectural activities have on the living and built environment can cause very harmful effects and health risks. The key polluting substances in the environment created during urban transformations, which have the ability to sorb other polluting substances on their surface, are identified as suspended particles. The frequently occurring problem of suspended particles high concentrations in the ambient air of architectural origin impacted the development of mitigation measures and models. In order to ensure the measures effectiveness and models utilization for the reduction of suspended particles created during architectural transformations, regulations, laws and supplementary legal measures have been prepared as support. It is determined that the building generates and emits suspended particles throughout whole construction cycle. The research within the doctoral dissertation investigates the emission of suspended particles created during the architectural and urban transformations. The focal problems of the research are the possibilities for suspended particles prevention and mitigation models and methods applicability and utilization in the city of Novi Sad and in the Republic of Serbia.



1. ЕСЕЈ О АРХИТЕКТУРИ И ЗАШТИТИ ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ.....	4
2. УВОДНА РАЗМАТРАЊА.....	8
2.1. Предмет и проблем истраживања .....	11
2.2. Хипотезе и очекивани резултати .....	12
3. МАТЕРИЈАЛИ И МЕТОДЕ .....	14
3.1. Употребљене методе за прикупљање података.....	15
3.2. Локације истраживања.....	15
3.2.1. Локација С1 .....	17
3.2.2. Локација С2.....	20
3.2.3. Локација С3.....	23
3.2.4. Локација С4.....	26
3.2.5. Локација С5.....	29
3.3. Основни предиктивни модел.....	31
3.4. Праћење – узорковање .....	35
3.5. Испитивање процента финих честица.....	35
3.6. Сензорски уређај .....	37
3.7. Примењени програми и математички модели .....	39
4. ЕМИСИЈА СУСПЕНДОВАНИХ ЧЕСТИЦА (ПМ10 И ПМ2.5).....	40
4.1. Суспендоване честице – физичко-хемијски портрет .....	40
4.2. Порекло суспендованих честица.....	41
4.3. Транспорт суспендованих честица .....	43
4.4. Утицај суспендованих честица .....	43
4.4.1. Здравствени ефекат на људску популацију .....	43
4.4.2. Ефекат на природно и изграђено окружење .....	46
4.5. Класификација честица.....	47

---

4.6. Мониторинг честица .....	47
4.7. Емисија честица.....	50
5. МЕРЕ И МОДЕЛИ ПРЕВЕНЦИЈЕ И МИТИГАЦИЈЕ .....	51
5.1. Преглед система примене мера и модела у свету .....	51
5.1.1. Канада.....	55
5.1.2. Уједињено Краљевство .....	56
5.1.3. Сједињене Америчке Државе.....	58
5.1.4. Народна Република Кина.....	59
5.1.5. Индија.....	60
5.1.6. Аустралија.....	61
5.1.7. Европска унија.....	62
5.2. Анализа сугестија мера и модела.....	63
5.2.1. Анализа мера и модела према извору емисије .....	63
5.2.2. Анализа мера и модела према току пројекта .....	64
5.2.3. Анализа мера и модела према активностима.....	67
5.3. Мере и модели митигације емисије суспендованих честица .....	70
5.3.1. Примарна митигација.....	71
5.3.2. План руковања емисијом суспендованих честица .....	72
5.3.3. Селекција материјала .....	73
5.3.4. Акватичне методе и модели митигације суспендованих честица .....	74
5.3.4.а. Методе примене воде .....	76
5.3.4.б. Методе примене хемијских супресаната.....	77
5.3.5. Примена ограда.....	79
5.3.6. Примена вегетационих метода.....	80
5.3.7. Методе стабилизације каменом, земљом и геотекстилом.....	80

5.3.9. Модели контролисаног улазног места.....	82
5.4. Ефикасност модела и метода.....	83
5.5. Коefицијент применљивости методе.....	85
5.6. Анализа законског уређења у Републици Србији .....	86
5.7. Предлог применљивих мера и модела на нивоу Републике Србије.....	89
6. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА.....	92
6.1. Примена мера и модела превенције и митигације .....	92
6.2. Мониторинг концентрационих нивоа ПМ честица на просторима урбане трансформације .....	95
6.2.1. Анализа повезаности - корелациони односи праћених параметара .....	98
6.2.1.а. Локација Ц1 .....	100
6.2.1.б. Локација Ц2.....	100
6.2.1.в. Локација Ц3.....	101
6.2.1.г. Локација Ц4.....	101
6.2.1.д. Локација Ц5.....	102
6.2.1.ђ. Анализа корелације целокупног сета података .....	103
6.2.2. Квалитет ваздуха у окружењу .....	104
6.2.3. Предикција распрострањања нивоа суспендованих честица .....	105
7. ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА .....	107
8. ЛИТЕРАТУРА .....	110
Попис и извори илустрација и табела .....	131
Илустрације.....	131
Табеле .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

## 1. ЕСЕЈ О АРХИТЕКТУРИ И ЗАШТИТИ ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ

Архитектура је појам који потиче од старогрчке речи аркитектон (грч. ἀρχιτεκτονική), а састоји се из два дела арх – врховни, главни и тектон – градитељ, указујући на основе филозофског смисла цивилизованог и уређеног живљења.

Мари Ватум дефинише архитектуру као мултифункционалну област уметности и науке, физичко хемијски, технолошки и инжењерски процес и резултат идеја, имагинације, креативности, експресије и реалности (Hvattum, 1966). И Малдини архитектуру доживљава као мултифункционалну научно-истраживачку дисциплину: „Архитектура је уметност и наука конструкционих и грађевинских објеката, група мрежних структура – мањих или већих кластера, у складу са естетским и функционалним критеријумима“ (Maldini, 2004). За Френк Лојд Рајта архитектура је научна уметност стварања експресивних идеја, а архитектура је тријумф људске имагинације над материјалима, методама и људима да би човек узео у посед своје земље (“Frank Lloyd Wright,” 1938). Бивши амерички председник Барак Обама сматра да је архитектура најдемократскија уметничка форма, јер стварањем зграда и простора који нас инспиришу и спајају, постају уметнички облици у суживоту са људима и природом (Obama, 2011).

Архитектура је високо интер-, интра- и транс- дисциплинарна, инжењерско урбанистичка истраживачка област, која се бави планирањем, пројектовањем, дизајном и обликовањем простора и грађевина, водећи рачуна о окружењу, естетици, етици, инжењерству заштите животне средине, одрживости, контаминацији али и митигацији нивоа загађења простора у коме се гради, а посебно где су већ архитектонски системи присутни. Област инжењерства заштите животне средине у модерној и савременој архитектонској пракси добија све већи и доминантнији статус, значајност и препознатљивост, јер контаминација животне средине, гасови стаклене баште и климатске промене незадрживо и неконтролисано утичу како на човека, тако и на изграђену средину.

Карактеристике урбаних простора са краја XX и почетка XXI века су брзи раст становништва, прекомерна, неконтролисана и нерационална и иреверзибилна производња и употреба природних ресурса, убрзани процеси глобализације и бројне еколошке кризе.

Урбане трансформације и архитектонске активности расипају 50% светске енергије у процесима изградње и одржавања, а сматрају се изворима загађења 24% ваздуха и 40% пијаће воде и педосфере. Почетак XXI века у фокус је након дуго занемаривања поставио питање контаминације амбијенталног ваздуха, истичући суспендоване честице различитих нано и микро величина које се јављају као обавезни резидуални део процеса изградње и рушења. Нови негативни импакти суспендованих честица се свакодневно откривају, уз дуготрајне непознате хазардне утицаје по изграђену и животну средину, као и на све компартименте окружења: воду, ваздух, земљиште, техно сферу и биосферу, уз транспортне процесе далеко од извора.

Урбанитети, грађевине, градови, животно окружење, природа и простор чине део комплексног и апстрактно логички повезаног система, који утиче на начин живота и организују друштва као целине. Основни контекст архитектуре и грађења поред планова и програма који разматрају форму, волумен, масу, простор, текстуру, светла и сенке, материјалне и прагматичне системе, као и практичност, економичност, бенефитни развој и утицај на околину мора обухватати и квантификацију суспендованих честица у амбијенталном ваздуху при архитектонским процесима урбаног развоја. Суспендоване честице у урбаним системима амбијенталног ваздуха процесима дисперзије редукују и ремете прозачност, транспарентност и осветљеност, а посебно утичу на уметничку импресију портрета архитектонских целина.

Функција архитектуре је да креира хармонију човека и природе, кроз симбиотски однос изграђене средине са животном средином. Елементарна функција изграђене средине да пружи заштиту од спољашњих утицаја, еволуирала је у више нивоа доживљаја: дом, припадност, успомене, сигурност, статусни симбол и друге, интензивним процесима урбанизације стављајући у други план интеракцију са природом и непосредним окружењем. Формиран симбиотски однос архитектуре, простора и животне средине у постојећем облику нарушава динамику равнотеже мултипликацијом и амплификацијом контаминације и бескомпромисно захтева имплементацију принципа инжењерства заштите животне средине са циљем повратку у стање динамичког еквилибријума. Имплементација начела заштите животне средине у фокус поставља принципе одрживог дизајна, избор материјала (могућност примене рециклабилних и рециклираних),

управљање отпадом и системе циркуларне економије. Потреба за постизањем симбиотског непосредног еквилибријума природе и изграђене средине захтева од архитеката примену еколошких материјала, зелених система градње и алтернативних извора природних ресурса, а у складу са метаболичким процесима развоја урбаних простора.

Концепт архитектуре еквилибријума – равнотеже, са примењеним принципима инжењерства заштите животне средине као интегрални концепт пројектовања подразумева планско пројектовање и праћење објеката од идеје до реализације, које трага за решењима максималне уштеде енергије и минималном утицају на окружење. Еквилибријумским пројектовањем плански се имплементирају природни ресурси (као што су зелене и водене површине) током урбаних трансформација са циљем температурне адаптивности и деконтаминације ваздуха, као природне амортизације утицаја загађења и загревања.

Одрживост и енергетска ефикасност су појмови које све чешће препознају као путоказ и пројекције ка зеленим технологијама које отварају нове визије будућности, граде садашњост на одрживим основама у сваком смислу и утврђују заборављени дијалог на релацији човек – природа.

Одржива архитектура концептуализује интеграцију изграђене средине у укупан еколошки систем, посматрајући је кроз моделе урбаних трансформација као микро и макро елементе насеља и градова, преко архитектуре са конструкцијом и обликовањем фасада, до техничких и енергетских система и могућности њихове уградње и експлоатације.

Енергетска ефикасност је примарно економска категорија која наглашава и тврди да су повећање ефикасности и смањење трошкова у директној пропорцији са смањеним штетним утицајем по околину. Ефикасном применом принципа енергетске ефикасности употреба природних ресурса са умањује, генеришу се мање количине отпада, као и емисија загађујућих супстанци у амбијентални ваздух (у тропосфери на отвореном, не укључује ваздух у затвореним просторима), стварајући друштвене и индивидуалне бенефите који доприносе промени друштвених вредности и формирању савремених

модела за одрживи развој и живот. Поштовање начела ефикасне примене мера заштите животне средине у блиској будућности ће постати обавеза, а не избор појединаца који схватају важност коришћења алтернативних извора енергије. Енергетски концепт ефикасности мора као катализатор еколошких, економских и друштвених промена да има снажан импакт на иновативност пројектовања висококвалитетних зграда и урбаних средина.

Примена начела одрживости и енергетске ефикасности као базичних елемената динамичког еквилибријумског пројектовања у савременој архитектури мора инкорпорирати принципе инжењерства заштите животне средине, успостављајући могућност симбиотског суживота изграђене средине и животног окружења кроз заједничку компензацију и амортизацију утицаја.

## 2. УВОДНА РАЗМАТРАЊА

XXI век на глобалном нивоу, посебно у развијеним земљама и земљама у развоју у први план доноси изазове заштите животне средине, где се издваја кључно питање загађења ваздуха као сфере са најмањим истраживачким фокусом у претходним деценијама. Загађење ваздуха се посматра као глобална епидемија изазвана хемијским и биолошким агенсима, као и суспендованим честицама, што доводи до штетних утицаја на животну средину и по здравље човека. Велики број истраживања (Azarmi et al., 2016; Brook et al., 2010; Cohen et al., 2017; Heinzerling et al., 2016; Li et al., 2017; Mukherjee and Agrawal, 2017; WHO, 2022, 2021) показао је повезаност загађења амбијенталног ваздуха са јавним здрављем, статусом биоценозе, регионалном и глобалном климом.

Суспендоване честице (енг. *Particulate Matter – PM*) су препознате као основни свеприсутни чиниоци загађења амбијенталног ваздуха. Посебан утицај на животну средину и окружење имају fine суспендоване честице са пречником мањим или једнаким 10 микрона (WHO, 2021, 2016a). Висока концентрација суспендованих честица се манифестује у изграђеној архитектонској и животној средини и деградацијом атмосферске видљивости поред контаминационих процеса (Chandrappa and Chandra Kulshrestha, 2016; Khallaf, 2011; Marquez and Smith, 1999).

Почетак новог миленијума у својим почетним годинама карактерише се процесима глобализације који стимулишу повећање антропогених активности што као резултат захтева висок ниво архитектонске урбанизације простора (Gozgor and Kablamaci, 2015; Hussain and Zhou, 2022; Khallaf, 2011; Li et al., 2019; Sampene et al., 2022; Soliman, 2021; Spencer, 2014; Zhang et al., 2022). Урбанизација простора видљива је како у градским срединама, тако и у руралним просторима. Потреба за константним развојем и урбанизацијом одликује се у развијеним и у земљама у развоју кроз изражену миграцију људи из руралних у урбане средине стварајући тако потребу и захтев за растом броја стамбених и пословних простора, самим тиме и њихову изградњу (Li et al., 2016; Wang et al., 2022; Williamson, 1988). Током архитектонских процеса на градилиштима велика количина загађујућих супстанци испушта се у окружујућу животну средину (Yang et al., 2018).



Активности које се одвијају током архитектонских процеса, као и материјали који се користе утичу на загађење ваздуха, земљишта, водних тела и стандарда комфора – бука и вибрације (Lester, 2011). Настанак буке и вибрација кореспондира свим grubим радovima током архитектонских активности. Бука и вибрације штетно делују на здравље, са посебним импактом на стрес, проблеме са сном, повишеним притиском и у екстремним случајевима губитком слуха (Nawi et al., 2018). Загађење земљишта на градилишту, као и земљишта у окружењу урбаних трансформација порекло води из више извора (Sandil and Kumar, 2022). Основним изворима сматрају се спирање водом, депозиција загађујућих супстанци које се налазе у ваздуху и директно контаминирају земљиште. Загађујуће супстанце се дугорочно акумулирају у контаминираним земљишту, и процесима капиларног кретања изазивају контаминацијом подземних водних тела (Joshi et al., 2022). Загађење водних тела у близини урбаних трансформација настаје неадекватном организацијом градилишта и неадекватним руковањем механизације и материјала (НКСА, 2013). Најчешће загађујуће супстанце водних тела су боје, адхезивна средства, горива, уља, цемент, различите токсичне хемикалије, лако испарљива органска једињења - *VOC* (енг. *Volatile Organic Compounds*) и друге (Badow et al., 2018). Контаминирана водна тела могу да утичу на здравље, а посебно изворишта пијаће воде. Загађујуће супстанце у ваздуху су идентификоване у највећем проценту као токсичне гасовите супстанце и суспендоване честице, са могућношћу да се лако транспортују на велике удаљености од извора у кратком временском периоду. На суспендоване честице по правилу сорбоване су различите гасовите токсичне супстанце. Загађење једног од три сегмента животне средине (ваздуха, земљишта и водних тела), због њихове интерповезаности изазива загађење и друга два сегмента животне средине (Ukaogo et al., 2020).

Утицај који урбане трансформације и архитектонске активности имају на животно и изграђено окружење може изазвати веома штетне ефекте и здравствене ризике. Суспендоване честице су идентификоване као кључне загађујуће супстанце у животној средини настале при урбаним трансформацијама, које имају способност да сорбују друге загађујуће супстанце (*PAH* – полициклични ароматични угљоводоници, *VOC*, азбест –  $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$ ,  $CO_{(g)}$ ,  $CO_{2(g)}$ ,  $NO_{x(x=1-5)(g)}$  и друге) на својој површини (Bibby and Webster-Brown, 2006; Száková et al., 2015; Warren and Zimmerman, 1994; White et al., 1996). Бројна

истраживања (Azarmi and Kumar, 2016; Beelen et al., 2014; Ghanizadeh et al., 2018; Mannucci et al., 2015; WHO, 2016b) су показала да суспендоване честице услед своје величине (Rai, 2016), са посебним акцентом на ПМ 10 и ПМ 2.5 (честице величине мање од 10 и 2.5 микрометра), имају озбиљне здравствене ризике и абразивним феноменима наносе штету изграђеној средини. Проблем честих појава високих концентрација суспендованих честица у амбијенталном ваздуху архитектонског порекла, у развијеним земљама Европе и света утицао је на развој мера и модела митигације. У циљу ефикасности мера и модела редукције суспендованих честица насталих током архитектонских трансформација простора, припремљени су правилници, закони као и пратеће законске мере као подршка правилницима. Утврђено је да објекат у целокупном току изградње генерише суспендоване честице (de Moraes et al., 2016; Kukkonen et al., 2003; Zhang et al., 2015). Различите архитектонске активности типичне за изградњу објеката су основни и типични извори суспендованих честица у амбијенталном ваздуху:

- Припрема терена (чишћење земљишта и рушење постојећих објеката)
- Ископ и транспорт земље
- Премештање опреме и кретање машина
- Процеси транспорта (утовар, истовар, пренос и складиштење)
- Специфичне активности у складу са позицијом која се изводи
- Завршне активности

Поред активности и начина њиховог извођења, велики утицај на генерисање суспендованих честица, као и на емисију имају метеоролошки услови. За већину активности често је виталан елемент емисије и генерисања честица зависан од материјала, односно од влажности материјала, јер што је материјал влажнији честице су конзистентније и компактније везане за матрицу, чиме се спречава њихова емисија у амбијентални ваздух.

## 2.1. Предмет и проблем истраживања

Предмет истраживања докторске дисертације је испитивање генерисања и емисије суспендованих честица насталих током архитектонско урбанистичких трансформација простора. Основни проблем истраживања поставља питање могућих модела и метода митигације суспендованих честица, као и могућност примене предвиђених метода и модела на нивоу селектованог града Новог Сада, као и прогресивно у Републици Србији.

Хипотезе истраживања могу се дефинисати кроз две кључне целине:

- Емисија и генерисање суспендованих честица:
  - Сензорска детекција и истраживачки мониторинг
  - Предикција емисије
- Модели и методе митигације:
  - Преглед постојећих и могућности примене
  - Примена селектованих модела и метода на нивоу града Новог Сада

Прва целина испитује директно емисију и генерисање суспендованих честица, где се као основа за примену митигационих мера посматра могућност предикције неприхватљивих концентрација суспендованих честица у простору. Применом изабраних прихваћених модела предикције, као и директним истраживачким мониторингом на репрезентативним локацијама, омогућена је квантификација емисије и доминантних фактора који утичу на генерисање и емисију ПМ честица.

Друга целина садржи преглед постојећих метода и модела који се примењују у развијеним земљама током урбаних трансформација простора. Анализом модела и метода изведен је пресек и дефинисане су методе и могућност њихове примене на нивоу Републике Србије. Други део прве целине укључује мониторинг градилишта на нивоу града Новог Сада у коме је праћена примена утврђених селектованих модела и метода. Задатак другог дела је да прикаже постојеће стање примене метода и модела митигације суспендованих честица на нивоу града Новог Сада уз предлог потребних мера за даље унапређење.

## 2.2. Хипотезе и очекивани резултати

На основу предмета, проблема и циљева докторске дисертације постављених на основу искуства и теренског рада, као и детаљног проучавања постојеће литературе и ставова из интердисциплинарне области истраживања постављене су следеће хипотезе:

1. Постоје ефикасни и економски модели и методе митигације суспендованих честица применљиви на нивоу Републике Србије
2. Неприхватљиво стање и недовољна примена метода митигације суспендованих честица
3. Простори урбаних трансформација и градилишта емитују висок ниво концентрације суспендованих честица
4. Предикција потенцијалних концентрационих нивоа суспендованих честица утиче на превенцију и минимизацију генерисања и емисије
5. Дефинисање и анализа реалног стања у односу на предикционе моделе

Анализом добијених резултата и применом модела предикције отвара се могућност за испитивања потенцијалних корекционих елемената за квалитетнију процену будућих емисија суспендованих честица.

Као специфични резултати истраживања очекују се:

1. Дефинисане мере и модели митигације суспендованих честица
2. Дефинисане могућности примене мера митигације суспендованих честица током урбаних трансформација на нивоу града Новог Сада
3. Модел Коефицијента применљивости методе
4. Потврђени кључни параметри који утичу на ниво емисије суспендованих честица
5. Дефинисан план - алгоритам митигације архитектонских активности
6. Приказ реалних и предиктованих вредности емисије суспендованих честица на селектованим локацијама
7. Дефинисане корекционе мере предиктивног модела

Добијени резултати су основа за даљи развој стратегије и имплементације примене метода и модела митигације суспендованих честица. Резултати су реална основа платформе за развој приручника, а затим и правилника за руковање емисијом суспендованих честица насталих током архитектонско урбанистичких трансформација простора. Коефицијент применљивости методе омогућава поуздану и практичну примену селекције метода митигације.

Развијени модел ће омогућити поуздану и прецизну предикцију нивоа концентрације суспендованих честица, што ће допринети правовременом и квалитетнијем решавању проблема првенствено загађења амбијенталног ваздуха али и свих делова животне сфере, посебно биосфере и техносфере.

### 3. МАТЕРИЈАЛИ И МЕТОДЕ

Анализом интердисциплинарности поља истраживања архитектуре, урбаних трансформација и загађења ваздуха кроз могућности примене селектованих материјала и метода дефинисани су потребни елементи. У складу са циљевима истраживања и у оквиру научно истраживачког рада тезе примењено је више научних метода истраживања. Као основна метода која се као нит дисипује кроз истраживање је анализа. Анализирани су постојећи модели и методе митигације суспендованих честица, као и њихова примена кроз предикцију кључних параметара. Приказ стања и статуса нивоа суспендованих честица на нивоу града Новог Сада, учествовао је уз аналитичке методе у развоју модела предикције. Аналитичким методама добијени резултати мониторинга концентрационих нивоа суспендованих честица потврдили су ефикасност развијених модела. Упоредо са аналитичком методом анализе, примењена је и метода компарације као додатни квалитативни елемент. Компаративна метода је кључна у дефинисању потребе корекционих мера предиктивног модела. Анализа и компарација постојећих модела и метода омогућиле су дефинисање и увид у могуће применљиве методе и моделе митигације суспендованих честица и чини посебно поглавље докторске дисертације. Развој модела за предикцију захтева дефинисање почетног модела и кључних параметара који директно утичу на предикцију концентрационих нивоа суспендованих честица. Детерминацију и селекцију локација архитектонско урбанистичких трансформација простора на којима ће се извести истраживачки мониторинг суспендованих честица условило је пре свега разумевање и отвореност инвеститора према решавању кључних проблема заштите животне средине (дозвола за мониторинг), као и потреба да се сагледа више различитих модела изградње (величина градилишта и нивоа становања).

Аналитички и експериментални део истраживања је спроведен на терену, на селектованим локацијама, као и у акредитованој лабораторији Департамента за инжењерство за животне средине и заштите на раду, ФТН, УНС. За мониторинг концентрационих нивоа суспендованих честица примењен је посебан оптички сензорски уређај развијен у истраживачком пројекту ИИИ 48003 „Развој метода и модела за мониторинг воде, ваздуха и земљишта“, финансираног од стране Републике Србије.

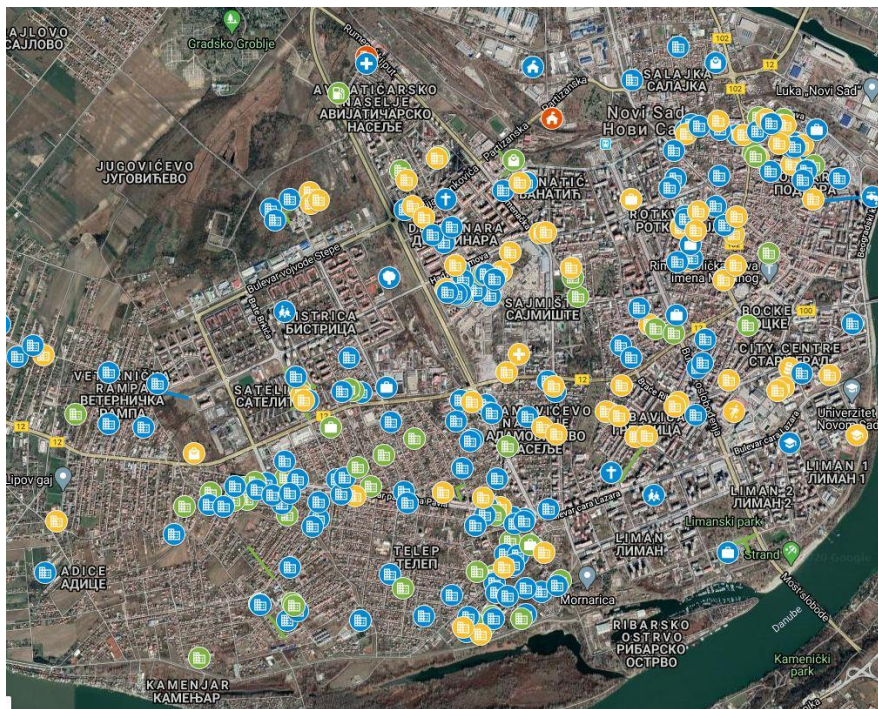
### 3.1. Употребљене методе за прикупљање података

Систематски, због специфичности истраживања, методе за прикупљање података као квалитативних и квантитативних архитектонских подлога истраживања могу се поделити у следеће целине:

1. Опсервација – директно посматрање
2. Мониторинг сензорским уређајем
3. Узорковање на терену
4. Анализа и компарација
5. Директно испитивање инжењера и инвеститора

### 3.2. Локације истраживања

Локације истраживања могу се поделити у два сегмента. Први сегмент се састоји од праћења 100 активних градилишта у току 2019. године са акцентом на примену детерминисаних модела и метода митигације суспендованих честица. Места истраживачког мониторинга распоређена су у различитим деловима града и приказане су на Слици 1 (“Gradnja.rs,” n.d.).



Слика 1. Мапа активних градилишта на нивоу града Новог Сада у 2019. години.

Локације у другом сегменту истраживања, су на основу анализе постојећих активних градилишта на нивоу града Новог Сада и доступности, селектоване кроз пет репрезентативних локација (слика 2.). На четири локације у изградњи су били стамбени објекти, док је за пету локацију селектована реконструкција путне саобраћајнице. Да би се постигла диверсификација и утврдили различити чиниоци терена (првенствено проценат финих честица у тлу на коме се гради), локалитети су изабрани тако да се распростиру у свим деловима града. Са истим циљем, изабрани стамбени објекти су различитих димензија и нивоа изграђености околних објеката.



Слика 2. Селектована градилишта на којим су постављени сензори



## 3.2.1. Локација С1

Општи подаци:

- Тип објекта: Пут - реконструкција
- Локација: Бате Бркића (између Булеvara Јована Дучића и Футошког пута) К.П. 8164/12 К.О. Нови Сад 1
- Површина: 1220 m<sup>2</sup> – парцела је правоугаоног облика.
- Рег./грађ. линија: Регулациона линија је на граници парцеле.
- Окружење: Објекти у окружењу су вишепородични стамбени објекти, максималне спратности Пр+12+Пк, варирајућих висина између 45м (куле) и 27м (нови објекти). Поред објеката налазе се простране слободне површине.



Слика 3. Приказ локације С1 на Ортофото карти из 2021. (локација је означена црвеном бојом)

- Примењене машине: Током мониторинга у употреби је био багер и камиони.
- Вегетација: На постојећој локацији није било вегетације.



Слика 4. Приказ локације С1 са објектима према катастарским плановима.

- Профил улице: Планирани пут је типског булеварског облика, са по две траке са обе стране, зеленом пуфер зоном, бицикличким и пешачким стазама.



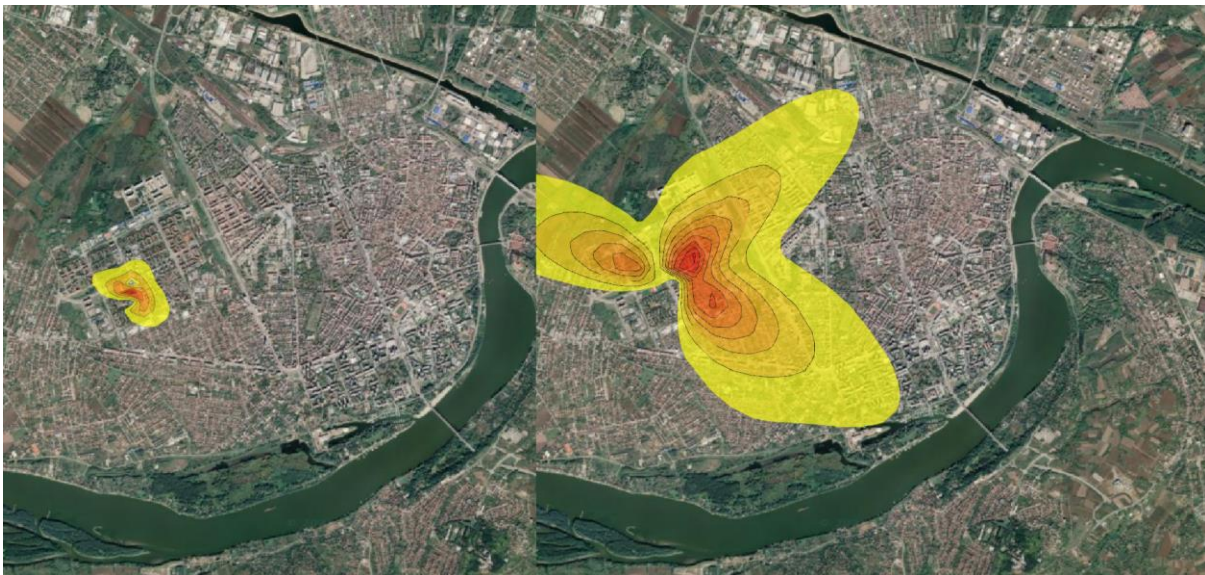
Слика 1. Профил планиране реконструкције пута на локацији С1.

- Фотодокументација:



Слика 6. Изглед а) пре и б) после реконструкције пута на локацији С1.

- Модел предиктованог распрострањања суспендованих честица:



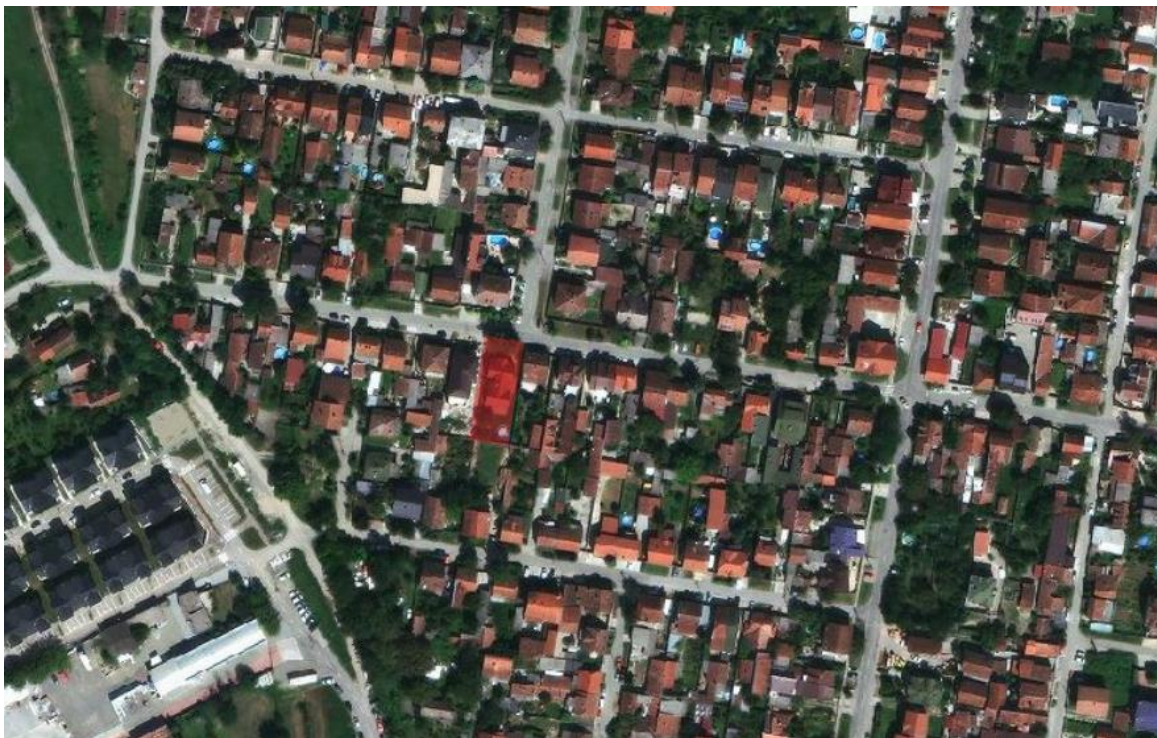
Слика 7. Предиктовано кретање суспендованих честица (локација С1) на висини од: а) 10м и б) 100 м

На локацији С1 праћени су радови током реконструкције пута. Пут је окружен слободностојећим објектима високе спратности и широким отвореним просторима који омогућавају лакшу дисперзију суспендованих честица како на 10м тако и на 100м. Распрострањање суспендованих честица на већим висина нема ограничења просторном композицијом и морфологијом терена. На кретање честица при већим висинама утичу доминантно хидрометеоролошки фактори.

### 3.2.2. Локација С2

Општи подаци:

- Тип објекта: Породични стамбени објекат Су+Пр
- Локација: Раковачка 61, Нови Сад К.П. 7626 К.О. Нови Сад 2
- Површина: 210 m<sup>2</sup> – парцела је правоугаоног облика.



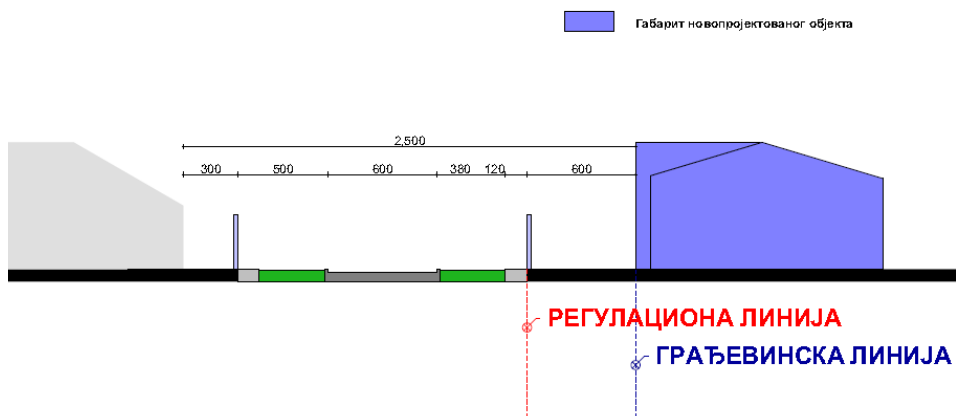
Слика 8. Приказ локације С2 на Ортофото карти из 2021. (локација означена црвеном бојом)

- Рег./грађ. линија: Регулациона линија налази се на уличној граници парцеле, док је грађевинска линија увучена 3 метра.
- Окружење: Објекти у окружењу су породични стамбени објекти, максималне спратности Пр+1+Пк, варирајућих висина у просеку између 6 и 12 метара. Парцела са фронталне стране има излаз на Раковачку улицу, док је са свих других страна окружена слободно стојећим објектима.
- Примењене машине: Током мониторинга у употреби је био багер.
- Вегетација: Постојећа вегетација је уклоњена само у предвиђеном делу за извођење објекта.



Слика 10. Приказ локације С2 са објектима према катастарским плановима.

- Профил улице: Коловоз је типског облика, ширине 6 метара након чега се налазе зелене зоне са пешачим стазама (ширине 5 м). Објекти у улици се у једном делу налазе удаљени од регулационе линије минимум 3м, док се у другом делу налазе уз регулациону линију. Према плану детаљне регулације предвиђено је породично становање спратности објеката до Пр+1+Пк.



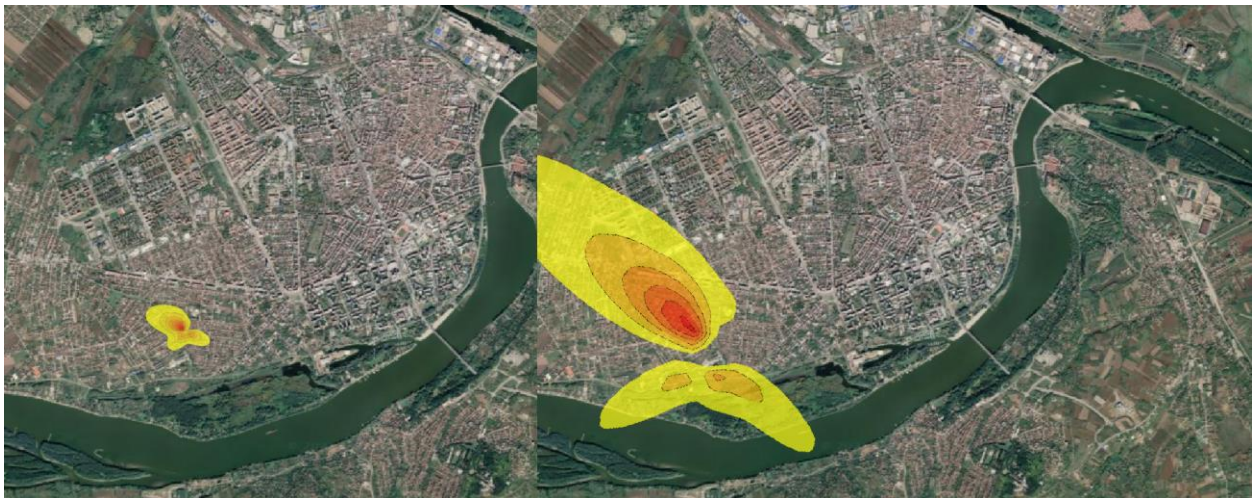
Слика 9. Профил улице и положај објеката, објекат С2 означен плавом бојом.

- Фотодокументација:



Слика 11. Изглед а) пре и б) после изградње објекта С2.

- Модел предиктованог распрострањања суспендованих честица:



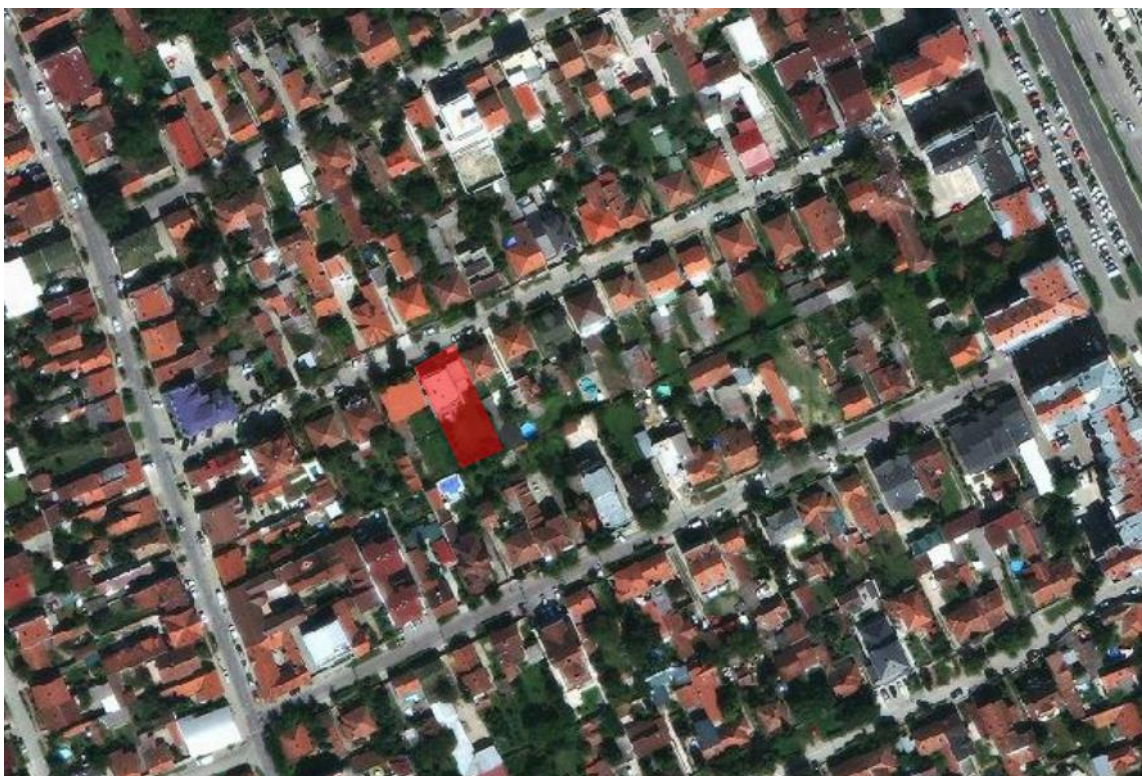
Слика 12. Предиктовано кретање суспендованих честица (локација С2) на висини од: а) 10м и б) 100 м

Током изградње стамбеног објекта на локацији С2 праћена је емисија суспендованих честица. Посматрана локација је окружена другим слободностојећим објектима ниске спратности. Морфологија простора формирана је тако да у мањој мери може утицати на концентрацију суспендованих честица при ниским висинама - до 10м. Распрострањење суспендованих честица на већим висина нема ограничења просторном композицијом и морфологијом терена.

## 3.2.3. Локација С3

Општи подаци:

- Тип објекта:           Породични стамбени објекат Пр+1  
                                  (на парцели већ постоје и три мања објекта)
- Локација:                Гери Кароља 25, К.П. 2805 К.О. Нови Сад 2
- Површина:             450 m<sup>2</sup> – парцела је правоугаоног облика.
- Рег./грађ. линија:     Регулациона линија налази се на уличној граници парцеле, док је грађевинска линија увучена 3 метра.



Слика 13. Приказ локације С3 на Ортофото карти из 2021. (локација је означена црвеном бојом)

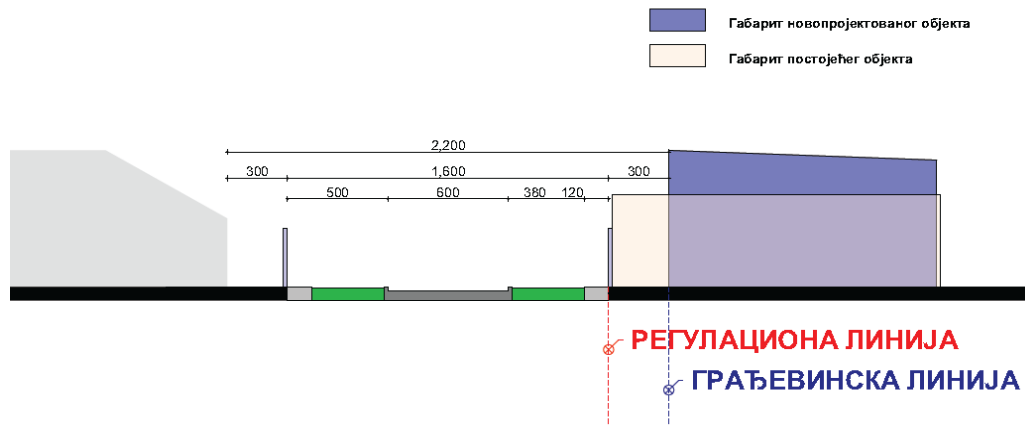
- Окружење:             Објекти у окружењу су породични стамбени објекти, максималне спратности Пр+1+Пк, варирајућих висина у просеку између 6 и 10 метара. Парцела са једне стране има излаз на улицу Гери Кароља, док се на осталим налазе друге парцеле стамбене намене.
- Примењене машине: Током мониторинга у употреби је био багер и камиони.

- **Вегетација:** Постојећа вегетација је већинским делом уклоњена у припремним радовима и при ископу темеља. Вегетација која није уклоњена у тим процесима уништена је постављањем привремених објеката и одлагањем материјала.



Слика 14. Приказ локације С3 са објектима према катастарским плановима.

- **Профил улице:** Коловоз је типског облика, ширине 6 метара након чега се налазе зелене зоне са пешачим стазама (ширине 5 м). Објекти у улици се налазе уз регулациону линију или су од ње благо удаљени. Према плану детаљне регулације предвиђено је породично становање спратности објеката Пр+1.



Слика 15. Профил улице и положај објеката, објекат С3 означен плавом бојом.

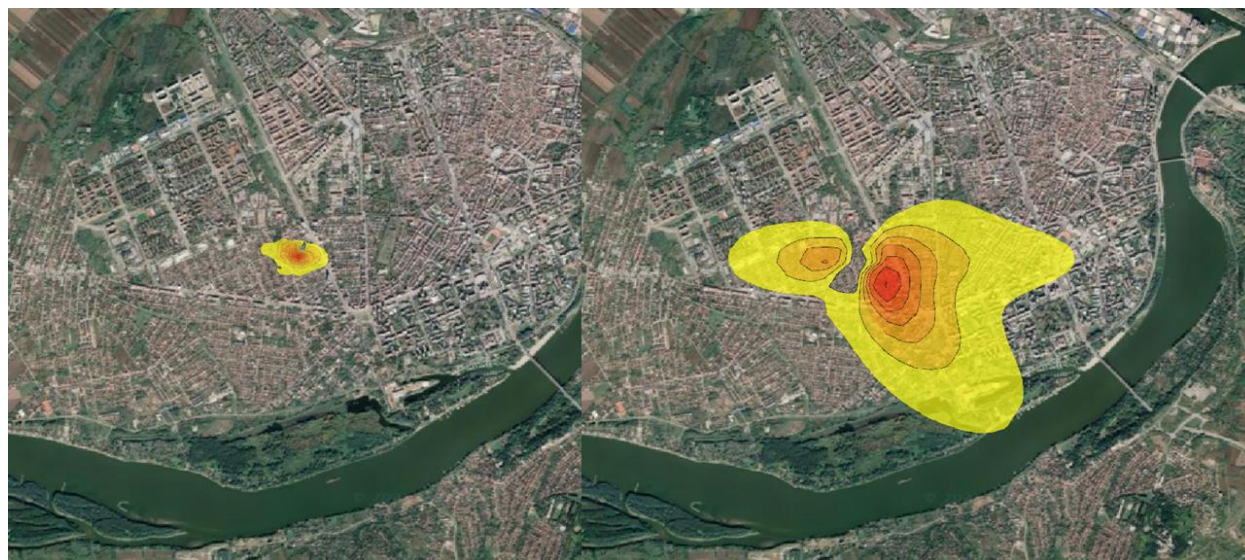


- Фотодокументација:



Слика 16. Изглед објекта С3 а) пре и б) после изградње.

- Модел предиктованог распрострањања суспендованих честица:



Слика 17. Предиктовано кретање суспендованих честица на локацији С3 при висини од: а) 10м и б) 100 м

На локацији С3 мониторинг је изведен током изградње породичног стамбеног објекта ниске спратности. Посматрана локација је окружена другим слободностојећим објектима ниске спратности. Морфологија простора формирана је тако да у мањој мери може да утиче на концентрацију суспендованих честица при ниским висинама - до 10м. Распрострањање суспендованих честица на већим висина нема никаква ограничења просторном композицијом и морфологијом терена. На кретање честица при већим висинама утичу само хидрометеоролошки фактори.

## 3.2.4. Локација С4

Општи подаци:

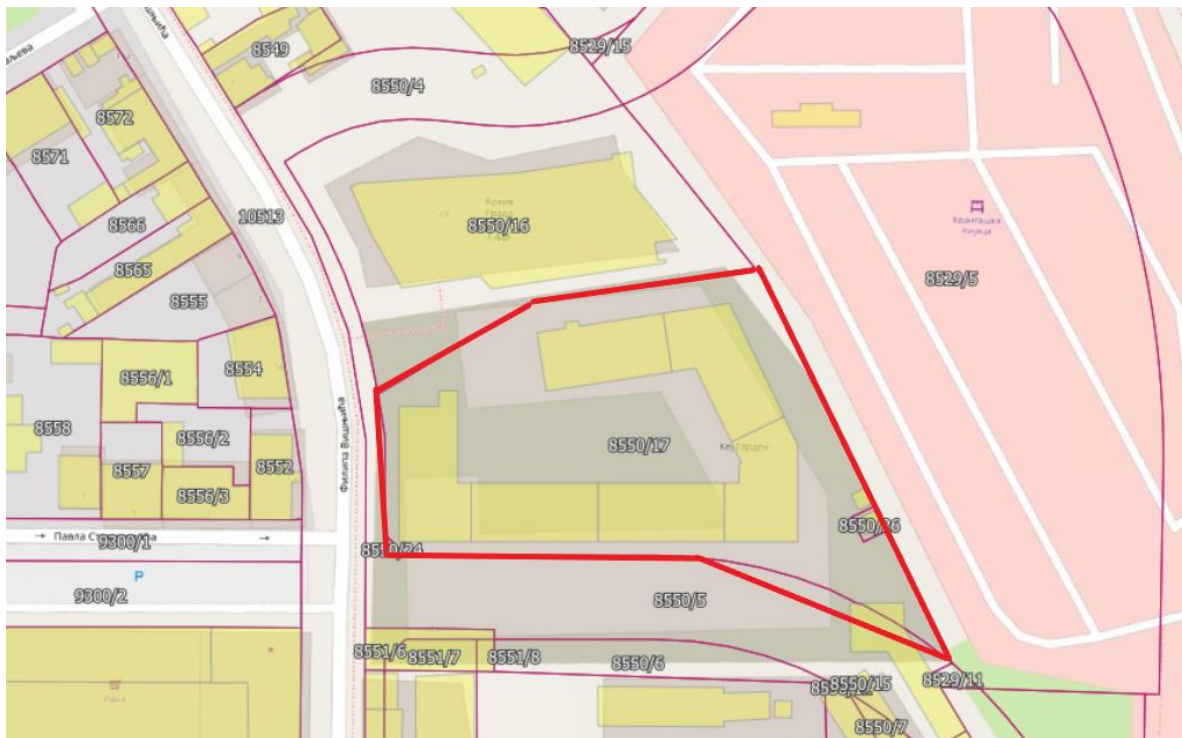
- Тип објекта: Стамбено пословни комплекс Пр+7
- Локација: Филипа Вишњића 2, К.П. 8550/17 К.О. Нови Сад 1
- Површина: 1050 m<sup>2</sup> – парцела је каскадног облика.



Слика 18. Приказ локације С4 на Ортофото карти из 2021. (локација је означена црвеном бојом)

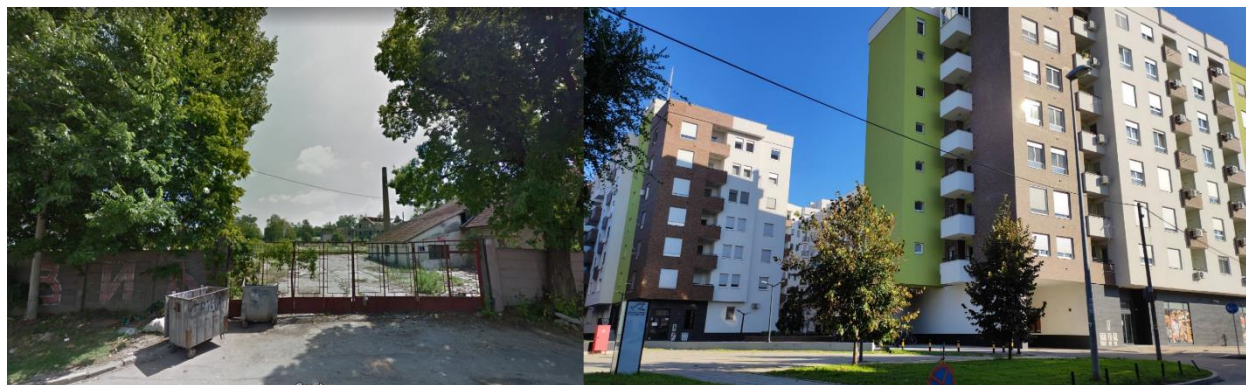
- Рег./грађ. линија: Регулациона линија се налази на граници парцеле док је грађевинска увучена.
- Окружење: У ширем окружењу се налазе вишепородични стамбено-пословни објекти. Објекат излази на улицу Филипа Вишњића, се са једне стране се налази слободно стојећи објекат „Историјског архива града Новог Сада“, део комплекса са друге две стране се налазе приземни објекти Кванташке пијаце и индустријског комплекса.
- Примењене машине: Током мониторинга у употреби су били багери и камиони.
- Вегетација: Сва вегетација на терену је уклоњена.

- Профил улице: Коловоз је типског облика са две траке, зеленом бафер зоном, бицикличком и пешачким стазама. Објекти у улици се налазе уз регулациону линију или су од ње благо удаљени.



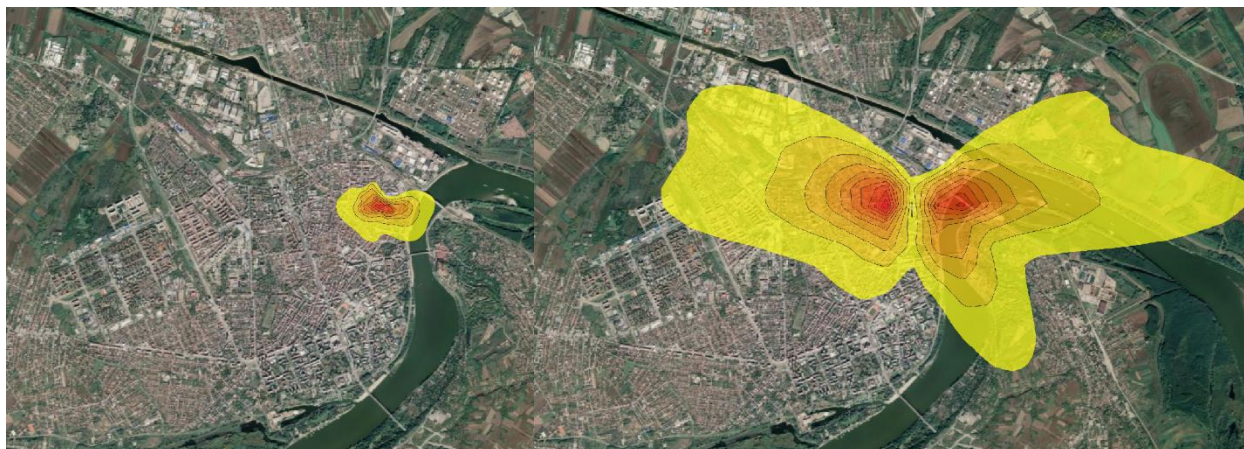
Слика 19. Приказ локације С4 са објектима према катастарским плановима

- Фотодокументација:



Слика 20. Изглед објекта С4 а) пре и б) после изградње

- Модел предиктованог распрострања суспендованих честица:



Слика 22. Предиктовано кретање суспендованих честица на локацији С4 при висини од: а) 10м и б) 100 м

Мониторинг је на локацији С4 изведен током изградње стамбено пословног комплекса високе спратности. Посматрана локација је окружена приземним објектима са две стране, док се са друге две стране налазе високи самостојећи објекат градског архива и улица Филипа Вишњића. Морфологија простора око планираног комплекса не утиче на распрострањање суспендованих честица.

## 3.2.5. Локација С5

Општи подаци:

- Тип објекта: Стамбено пословни објекат Пр+Га+7+Пк
- Локација: Булевар Ослобођења 97б, К.П. 7949 К.О. Нови Сад 2
- Површина: 840 m<sup>2</sup> – парцела је каскадног облика.



Слика 23. Приказ локације С5 на Ортофото карти из 2021. (локација је означена црвеном бојом)

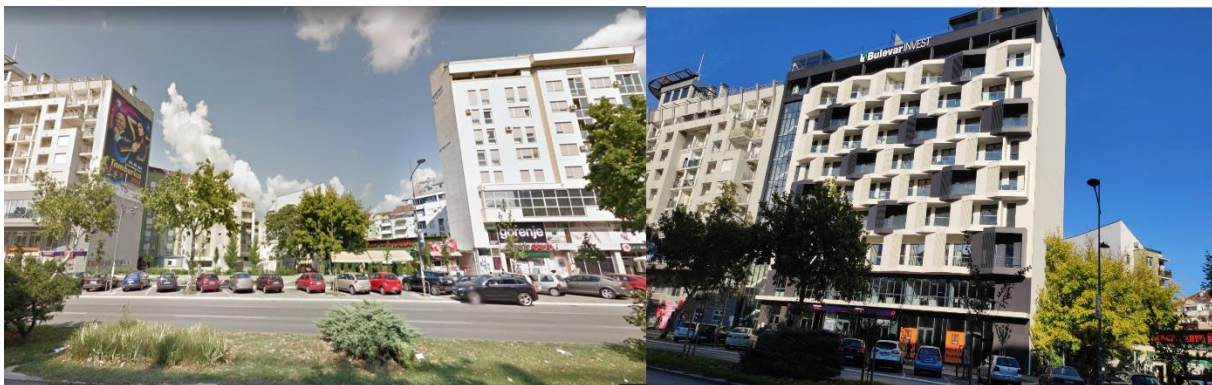
- Рег./грађ. линија: Регулациона и грађевинска линија се налазе на граници парцеле
- Окружење: Објекти у окружењу су вишепородични стамбено пословни објекти, максималне спратности Пр+Га+7+Пк. Објекат излази на Булевар ослобођења, док се са једне стране наслања на други стамбено пословни објекат. Двориште је окружено другим објектима.
- Примењене машине: Током мониторинга у употреби су били багери.
- Вегетација: Сва вегетација на терену је уклоњена.

- Профил улице: Коловоз је типског булеварског облика са по три траке, острвом, зеленом бафер зоном, бицикличким и пешачким стазама. Објекти у улици се налазе уз регулациону линију или су од ње благо удаљени.



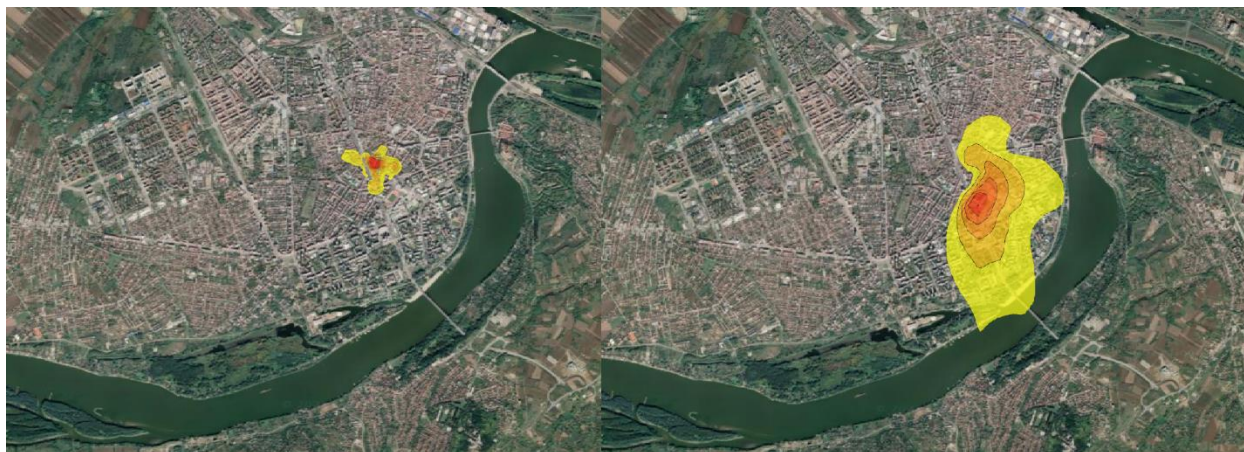
Слика 24. Приказ локације С5 са објектима према катастарским плановима

- Фотодокументација:



Слика 25. Изглед објекта а) пре и б) после изградње.

- Модел предиктованог распрострања суспендованих честица:



Слика 26. Предиктовано кретање суспендованих честица на локацији С5 при висини од: а) 10м и б) 100 м

На локацији С5 мониторинг је изведен током изградње стамбено пословног објекта високе спратности. Посматрана локација је окружена другим објектима који належу једни на друге. Морфологија простора око планираног објекта формира вертикални коридор који у већој мери утиче на распрострањање честица на мањим висинама, усмеравајући их у једном смеру (ка Булевару ослобођења). Распрострањање суспендованих честица на већим висина нема никаква ограничења просторном композицијом и морфологијом терена.

### 3.3. Основни предиктивни модел

Основне информација о емисији суспендованих честица током архитектонско-конструктивних активности и урбаних трансформација простора потиче из Сједињених држава (Environment Protection Authority, 1996), које су током седамдесетих година прошлог века почеле да испитују и развијају емисионе факторе за специфичне конструктивне радње – изворе генерисања и емисије суспендованих честица (тада посматраних као прашину). Листа емисионих фактора се редовно унапређује и допуњава. Применом постојећих фактора и претходних модела, 2019. године развијен је нов приступ – методологија за предикцију концентрације емисије суспендованих честица у три реда – нивоа, која захтева доступност већег броја података са терена (ЕЕА, 2019).

Развоју најновије методологије за предикцију методе претходила су испитивања и праћење честичних концентрација у правцу кретања ветра на бројним градилиштима у Калифорнији (Environment Protection Authority, 1996). ЕПА (енг. *Environmental Protection Agency*) је добијене резултате искористила као основу за формирање нове савремене верзије предикционог модела првог реда на градилиштима. Основна методологија модела развијена је у касним деведесетим годинама прошлог века, и од тада се развија и унапређује за примене у другим регионима САД, а од скоро и у другим деловима света. Кључне промене у савременом моделу су корективне мере за климатске чиниоце и елементе тла, што омогућава примену модела првог реда ефективном на различитим локацијама (Environmental Protection Agency (EPA), 2011). Предност модела се огледа у могућности да посматра целокупно подручје под утицајем емисије суспендованих честица. Истраживања (Dröge et al., 2010; Werner et al., 2018) су показала високу ефикасност модела првог реда и ван граница САД.

Европска Агенција за Животну средину – ЕЕА (енг. *European Environment Agency*) у склопу ЕМЕП програма (енг. *European Monitoring and Evaluation Programme*) 2019. године издала је приручник у коме је једно од поглавља посвећено посебно предикцији емисије суспендованих честица током архитектонских активности. Приручник препознаје градилишта као веома важне изворе емисије и генерисања суспендованих честица и као алгоритам за предикцију примењује модификовани ЕПА модел првог реда (ЕЕА, 2019).

Литературне референце које испитују емисију суспендованих честица током архитектонских активности – изградње објекта сматрају да предвиђање реалне емисије може бити само квантификација првог нивоа и да су несигурности високе, односно много веће него за друге изворе ПМ честица. Истраживање у склопу докторске дисертације ће утврдити степен прихватљивости, тј. поклапања предвиђених вредности и вредности добијених директним мониторингом на градилишту.

Разматрањем различитих модела предикције, ЕПА метода првог реда пружа високо прихваћен и често примењен модел за брзо и директно одређивање емисионог фактора – атрибута изградње (ЕЕА, 2019). Модел дозвољава грубу корекцију климатских услова



који утичу на влажност земљишта. Метод предвиђа израчунавање индекса базираног на месечним падавина (у мм) и средње температуре (у °С) према формули:

$$EM_{PMx} = EF_{PMx} * A_{af} * d * (1 - CE) * \left(\frac{24}{PE}\right) * \left(\frac{s}{9\%}\right)$$

При чему се за вредности „x“ узимају 10 и 2.5, сразмерно фракцији честица за коју се рачуна емисиони фактор.

Емисиони фактор се израчунава као производ више фактора:

$EF_{PMx}$  – емисиони фактор, усвојена константа везана за фракцију која се израчунава,

$A_{af}$  – површина на којој се генеришу честице

$d$  – време рада – активности

$CE$  – ефикасност контроле емисије суспендованих честица

$24/PE$  – корекција за влажност терена

$s/9\%$  – корекција за садржај финих честица

ЕПА Модел првог реда предикције емисије разликује три различита типа објеката - стамбени објекти (једно породично и више породично становање), комерцијални објекти и изградња путева. Специфични коефицијент везан за тип објекта – тј. површина под утицајем емисије добија се мултипликацијом фактора конверзије (према спецификуму објекта - табела 1.) и површине градилишта (изражене у  $m^2$ ). Специфични емисиони фактори ( $EF_{PMx}$ ) приказани су такође у табели 1., и заснивају се на истраживањима емисионих фактора за ПМ10 честице примењених у ЕПА моделу првог реда, док се коефицијент за ПМ2.5 честице заснива на истраживању (Muleski et al., 2005) да се проценат ПМ2.5 честица у ПМ10 креће између 5-15%, чиме је и коефицијент усвојен као десети део фактора за ПМ10 честице.

Фактор конверзије	Тип објекта / величина честица	ПМ10	ПМ2.5
2	Стамбени објекат – једно породично становање	0.086	0.0086
1.3	Стамбени објекат – више породично становање	0.3	0.03
1	Комерцијални објекти	1	0.1
1	Путеви	2.3	0.23

Табела 1. Емисиони фактори према типу објекта.

Трајање активности на градилишту (d) изражено као количник планираних радова са бројем дана у години, обухвата све радове од почетка до краја. Ефикасност редукционих смерница (CE) рефлектује се у примени мера митигације. Најчешће примењена мера у Европи (WRAP, 2006) квашења земљишта има ефикасност од 50% у просеку, тј. умањује укупну емисију суспендованих честица за 50%. Модел првог реда користи као грубу корективну мера за влажност земљишта количник 24 и Торнвејтовог индекса (PE) (енг. *Thornthwaite precipitation-evaporation index*). Торнвејтов индекс је индикатор влажности садржаја земљишта занован на месечним падавинама ( $P_i$  – у mm) и просечној температури ( $T_i$  - у °C) и рачуна се према једначини:

$$PE\ index = \sum_{i=0}^{12} \left( \frac{P_i}{1.8 T_i + 22} \right)^{\frac{10}{9}}$$

Процент финих честица (енг. *silt*) у земљишту су један од кључних елемената предикционог модела, и састоји се од честица величине између 0.002 и 0.063 mm према ISO стандардима (ISO, 2017) и представља фракцију земљишта које је лако аеробилна. Модел предикције користи фракцију финих честица у тлу на коме се обављају архитектонске активности.

### 3.4. Праћење – узорковање

Посматрани кључни параметри потребни у ЕПА моделу првог реда за предикцију емисије суспендованих честица архитектонског порекла су првенствено величина радне површине, влажност материјала (тла) и концентрација финих честица (ЕЕА, 2019).

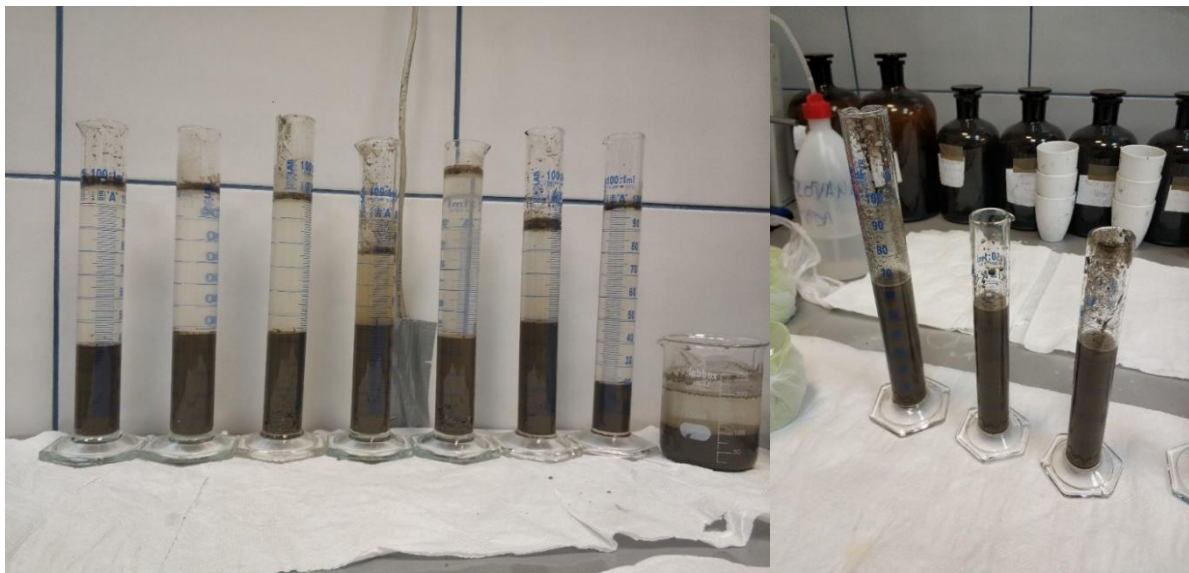
Величина радне површина – тј. површина простора урбаних трансформација, израчуната је путем премеравања геодетских цртежа доступних на сајту Републичког геодетског завода (RGZ, 2022). На свакој селектованој локацији, извршено је узорковање земљишта, након чега је у акредитованој Лабораторији за мониторинг депонија, отпадних вода и ваздуха Факултета техничких наука, Универзитета у Новом Саду извршено мерење концентрационог удела финих честица. Влажност земљишта одређена је као Торнвејтов индекс, а потребни подаци (количина падавина и просечна температуре) за израчунавање индекса преузети су од Републичког хидрометеоролошког завода – РХМЗ (RHMZ, 2019). За потребе програма за предикцију *ADMS – Urban*, поред количине падавина, и просечне температуре, преузети су и подаци о кретању ветра са сајта РХМЗ (RHMZ, 2019).

Поред кључних параметара, потребних за предикцију, на селектованим локацијама урбаних трансформација посебно дизајнираним оптичким сензором (описан у наредном поглављу) изведен је истраживачки мониторинг суспендованих честица (ПМ10 у ПМ2.5), влажности ваздуха и температуре.

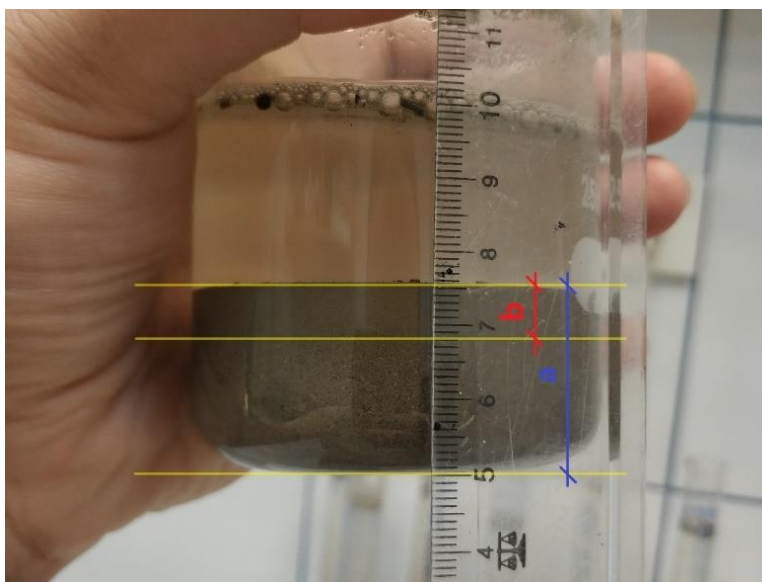
### 3.5. Испитивање процента финих честица

Узорковање на пет селектованих локација изведено кроз планирано прикупљање узорака земљишта. Свака локација подељена је у 10 сегмената са којих је колектован узорак земљишта димензија 20cm\*20cm\*20cm, сви узорци са једне локације прикупљани су у заједнички контејнер. Прикупљени узорци измешани су да би се добила уједначена, хомогена и компактна маса усредњена са сваке локације. Након прикупљања узорака са свих локација у акредитованој Лабораторији за мониторинг депонија, отпадних вода и ваздуха, Факултета техничких наука, Универзитета у Новом Саду извршено мерење концентрационог удела финих честица.

Семиквантитативна анализа одређивања је заснована принципу секвенцијалне седиментације градуисаним мензурама, са 1% раствора NaCl и узорака земљишта које се испитује. У мензури се помешају раствор соли и земљиште, након чега се седиментационо гравитационим процесима крупније честице исталоже прве, формирајући карактеристичне разлике у слојевима (слика 31.).



Слика 31. Испитивање процента финих честица у мензурама

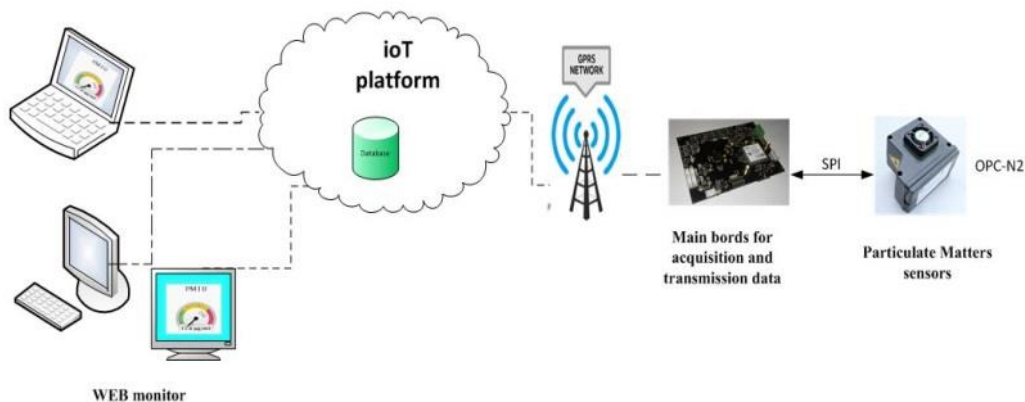
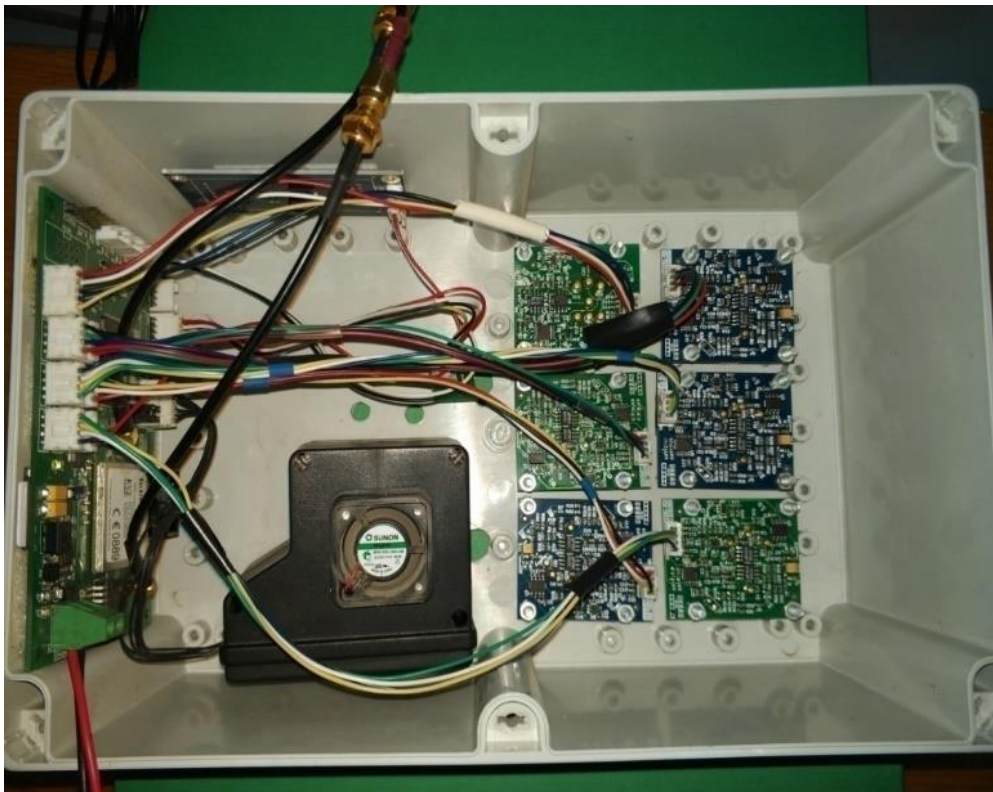


Слика 32. Мерење укупне количине испитиваног земљишта (а) и слоја финих честица (б).

Процент финих честица се одређује као количник укупне количине испитиваног земљишта -  $V_{\text{ук}}$  и формираног слоја финих честица -  $V_s$  (слика 32.), а према формули  $S\% = V_s / V_{\text{ук}} * 100$ . Просечни вредности резултата испитивања су приказани у Табели 2.

### 3.6. Сензорски уређај

У сврхе испитвања предвиђен је истраживачки мониторинг пет градилишта, утилизовањем посебног оптичког сензорског уређаја дизајнираног на Катедри за Електронику, Факултета техничких наука, УНС у склопу пројекта ИИИ 43008 – Развој метода, сензора и система за праћење квалитета воде, ваздуха и земљишта.



Слика 33. а) Изглед повезаних компоненти сензорског уређаја; б) шема преноса података

Сензорски уређај у основи садржи конвенционални *OPC-N2* (енг. *OPC-Optical Particle Counters*) оптички честични бројач Алфасенса (енг. *Alphasense*). Оптички честични бројач функционише на принципу мерења расипања светлосних зрака које изазивају индивидуалне честице ношене у ваздушном снопу који пролази кроз илуминациони ласерски зрак (таласне дужине 658 nm). Интензитет расипања светлости је калибрисан на основу  $\mu$  теорије расипања и у корелацији са концентрационим бројем честица омогућава одређивање величине суспендованих (*Alphasense*, 2015). *OPC-N2* користи претпостављену честичну густину и индекс рефракције, спектар величина честица и концентрационе податке да израчуна концентрацију суспендованих честица. Уређај узоркује помоћу малог вентилаторског аспиратора, елиптичног огледала и двоелементног фото детектора, стварајући зону виртуалног читавања у центру слободног простора отворене коморе за расипања светлости, са могућношћу бројања до 10.000 честица у секунди. Сензор је прекалибрисан према европском стандарду EN481 (ES, 1993) честичних концентрација за фракције ПМ10 и ПМ2.5 дефинисане као честице које се регуларно инхалационим путем уносе у организам. Могућност веома дугог периода рада без потреба за чишћењем и одржавањем, заснива се на томе да све узорковане честице пролазе директно кроз сензор без да се депонују у самом уређају.

Екстерни фактори као што су снага и кинетика ветра у близини уређаја могу утицати на проток узорака кроз сензор, што сам уређај прати и исправља динамички да не би излазна вредност концентрације суспендованих честица била под утицајем варијабилности протока. На основу прикупљених података и хистограма честичних величина, управљачки модул сензора израчунава масену концентрацију суспендованих честица у ваздуху по јединици запремине ваздуха, израженог у  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Сензор може бити повезан као систем мониторинга архитектонских и урбаних трансформација у реалном времену за директно праћење суспендованих честица у изабраним зонама.

Тестирање и испитивање (*Bezantakos et al.*, 2018) два Алфасенсова *OPC-N2* сензора у широком спектру услова са Грим 1.109 *OPC* (*Grimm 1.109 OPC*) као референтним инструментом је показало да оба тестирана сензора у собним условима приказују компатабилна мерења броја и концентрације честица. Мерна прецизност броја и концентрације крупнијих честица је висока, док код добијених података за фине (нано)

честице мерна прецизност може да флукуира. Испитивање (Di Antonio et al., 2018) нискобуџетних сензора, посебно Алфасенсовог *OPC-N2* сензора, показало је да уз одговарајуће алгоритамске корекције сензори пружају поуздане податке ПМ честица у амбијенталном ваздуху.

Истраживање (Pope et al., 2018) у Најробију, Кенија потврдило је да су мерења ПМ концентрација *OPC-N2* сензором са адекватним калибрацијама веома практична и ефективна. Дугорочно испитивање (Feinberg et al., 2018) и евалуација ваздушне сензорне технологије у амбијенталним условима спроведено је у Денверу, Колорадо, САД. Током испитивања *OPC-N2* је приказао сличне резултате референтним подацима мониторинга посебно истичући могућност анулирања ефекта ветра. Испитивање *OPC-N2* сензора Крилија и колега (Crilly et al., 2018) истиче да је сензор демонстрирао високо поклапање вредности измерених концентрација ПМ10 и ПМ2.5 са референтним уређајем што је доказ прецизности и поузданости уређаја. У евалуацији нискобуџетних сензора (Salimifard et al., 2020) *OPC-N2* се истакао са високим процентом поузданости и поновљивости. Поузданост Алфасенсовог *OPC-N2* сензора доказана је тестирањем у скоро свим условима осим у условима повишене влажности ваздуха (преко 75%) (Czernicki and Kallmert, 2019).

Доказ ефикасности, поузданости и применљивости изабраног Алфасенсовог *OPC-N2* сензора примењеног у експерименталном делу докторске дисертације потврдила су бројна истраживања која су користила оптички сензор (Alvarado et al., 2017; Amegah, 2018; Feinberg et al., 2018, 2019; Idrees and Zheng, 2020; Molnár et al., 2020; Nagendra et al., 2019; Pope et al., 2018).

### **3.7. Примењени програми и математички модели**

При анализи и компарацији података примењен је статистички програм – софтвер *SPSS 20* произвођача *IBM*. Софтвер *ADMS – Urban* употребљен је за графички приказ и предикцију распрострањања суспендованих честица у простору.

## 4. ЕМИСИЈА СУСПЕНДОВАНИХ ЧЕСТИЦА (ПМ10 И ПМ2.5)

### 4.1. Суспендоване честице – физичко-хемијски портрет

Загађујуће супстанце присутне у амбијенталном ваздуху, пре свега респирабилне суспендоване честице (енг. *particulate mater*– ПМ) због негативног дејства на окружујућу животну средину (вода, ваздух, земљиште и биосферу) и људско здравље, индукују велику пажњу стручњака, регулаторних тела и најшире јавности. Законска регулатива Европске Уније већ дуги низ година, а од 2010. године и српска регулатива прописују мониторинг две фракције честица присутних у ваздуху, мањих од 2,5  $\mu\text{m}$  такозваних финих честица, ПМ2,5 и мањих од 10  $\mu\text{m}$  аеродинамичког пречника, ПМ10, у чији састав улазе поред финих честица и грубе честице које су из опсега од 2.5-10  $\mu\text{m}$ . Резултати студије спроведене у три европске земље са око 75 милиона становника Аустрији, Швајцарској и Немачкој, процењују да је изложеност респирабилним честицама одговорна за око 40.000 смртних случајева годишње (Künzli et al., 2000). Половина броја ових смртних исхода се приписује честицама из саобраћаја, што је једнако броју људи који годишње страда у Европској Унији у саобраћајним удесима. Процењено је да се у ЕУ годишње изгуби 3.6 милиона година живота услед аерозагађења респирабилним честицама (ЕЕА, 2021). Увођење граничних вредности концентрација полутаната у амбијенталном ваздуху који се односе на респирабилне честице доприноси побољшању здравља популације, што свакако има и позитивне економске ефекте. Код нас су се последњих година спроводиле студије о утицају аерозагађења на здравље људи које су углавном везане за поједине градове као што је на пример, Ниш (Nikić et al., 2009, 2005; Stanković et al., 2007), док су студије везане за здравствене ефекте аерозагађења на националном нивоу тек у зачетку (Агенција за заштиту животне средине, 2021).

Успешно управљање амбијенталним аерозагађењем захтева знања о укупном циклусу везаном за респирабилне честице, укључујући изворе емисије честица, процесе њиховог формирања, њихов састав, распрострањање и судбину у атмосфери, као и изложеност људи, што даље има утицај на здравље (WHO, 2021). Главни извори респирабилних честица су добро познати. Поред природних извора, најзначајнији извори антропогеног порекла укључују термоелектране и саобраћај. Фине честице и гасови из



термоелектрана и саобраћаја, прекурсори респирабилних честица, обично потичу од процеса сагоревања (Mukherjee and Agrawal, 2017). Извори који доприносе примарној емисији респирабилних честица и гасова прекурсора се разликују по областима и регионима. Углавном се указује да су индустријски процеси највећи извори загађења, а затим су то емисије из инсталација за колективно и локално грејање (индивидуална ложишта) и сви видови транспорта који представљају процесе сагоревања фосилних горива који нису у директној вези са индустријом. Истраживачке институције су препознале да се повећањем друмског саобраћаја у урбаним срединама, повећава емисија загађења ваздуха, што означава друмски саобраћај као битан извор аерозагађења. Суспендоване честице у атмосфери су високо физичкохемијски хетерогени системи, зато је круцијално знати количину, физичке особине и хемијски састав (посебно катјоне живе и олова и других канцерогених супстанци) (Bibby and Webster-Brown, 2006; Li et al., 2017; Rahman et al., 2017).

#### 4.2. Порекло суспендованих честица

Суспендоване респираторне честице могу бити природног и антропогеног порекла, њихов опсег величина је релативно широк и састав веома комплексан. Природни извори аеробилних честица су земља, прашина, настале вулканским реакцијама, вегетацијом и распадом стена. У приобалном подручју то су честице соли, као и гасовите честице формиране хемијским реакцијама ( $\text{H}_2\text{S}_{(g)}$ ,  $\text{NH}_{3(g)}$ ,  $\text{NO}_{x(g)}$  и  $\text{HC}_{(g)}$ ) (El Morabet, 2019; Fan and Lin, 2011; Ukaogo et al., 2020; Yadav and Devi, 2019; Yadav et al., 2022). Пореклом из антропогених извора честице настају:

- током архитектонских активности на градилиштима
- у процесу сагоревања угља и течних горива као што су чађ од дизел горива или летећи пепео из термолелектрана
- током фотохемијских реакција (комплексне ланчане реакције гасовитих полутаната под утицајем  $UV$  сунчеве светлости)
- од ресуспендоване прашине

- од издувних гасова моторних возила, индустријских објеката где се одвијају процеси на високим температурама, термоелектрана на угаљ, ливница и челичана, мотора са унутрашњим сагоревањем, спаљивања отпада, неконтролисаних пожара...

Главне компоненте од којих се састоје респирабилне честице су:

- неоргански јони (анјони нитрата и сулфата, и катјони метала најчешће гвожђа, олова, мангана, цинка)

- органска једињења (феноли, органске киселине и алкохоли)

- органски угљеник (енг. *organic carbon*) који је и примарног и секундарног порекла: примарни органски угљеник се емитије у облику честица, а секундарни органски угљеник се формира у атмосфери приликом процеса конверзије испарљивих органских једињења у честице.

Секундарно формирање честица се одвија кроз:

- хемијске реакције у које су укључени  $H_2O$ ,  $O_2$ ,  $O_3$ ,  $OH$ ,  $SO_{X(X=1-3)}$ ,  $NO_X$

- процес нуклеације органских гасова (токсичних и неорганских супстанци) сорбованих (адсорпција и апсорпција) на честицама архитектонског порекла

- процес коагулације.

Класе честице диспергованих величина имају различито порекло и особине (Li et al., 2017). Фракција грубих честица је првенствено састављена од атмосферске прашине настале суспензијом, током процеса урбаних трансформација и архитектонских активности које подразумевају механичко круњење грануларног материјала (асфалтирани и неасфалтирани путеви – извођење и кретање, пољопривредне активности, грађевински радови и различити природни процеси). Индустријске операције (дробљење, уситњавање, мљење, брушење и друге активности) такође у извесној мери доприносе фракцији грубих честица присутних у амбијенталном ваздуху. Сматра се да је већина финих честица пореклом од процеса сагоревања (Park, 2004; Yadav and Devi, 2019). Фине честице се категоришу као примарне или секундарне.

### 4.3. Транспорт суспендованих честица

Познавање кретања суспендованих честица у отвореном динамичном систему флуида амбијенталног ваздуха је основ за разумевање потенцијалних модела емисије суспендованих честица.

Током кретања суспендованих честица у амбијенталном ваздуху, препознато је 5 механизма транспорта (Vargas Buonfiglio and Comellas, 2020). Примарни механизми су Браунова дифузија, гравитационо таложење и импакција, док су секундарни феномени базирани на електростатичка привлачност и конгломеризације (Ng et al., 2017; Wu et al., 2015, 2018).

Депозиција гравитационим таложењем одвија се као резултат физичког процеса утицаја гравитације на суспендоване честице у амбијенталном ваздуху. Брзина таложења директно је пропорционална величини честице (Chang and Hu, 2008; Jin et al., 2016; Vargas Buonfiglio and Comellas, 2020; Wang et al., 2007).

Браунова дифузија дефинише депозицију честица на површине унутар затворених система флуида (виртуелних боксова) као што је систем амбијенталног ваздуха, укључујући колизију гасних молекула са суспендованим честицама, што доводи до феномена насумичног кинетичког кретања (Chang and Hu, 2008; Jin et al., 2016; Vargas Buonfiglio and Comellas, 2020). Фундаментални физички процеси Браунове дифузије зависе од величине честица, протока ваздуха и карактеристика површине, а индиректно је пропорционална величини честице, услед чега се смањењем величине честица дифузија повећава. Зидови, подови, плафони и друге површине на које се примењују различите инжењерске акције у процесу урбаних трансформација директно су обухваћене Брауновом дифузијом (Jin et al., 2016; Liu, 2010; Tien and Ramarao, 2007).

### 4.4. Утицај суспендованих честица

#### 4.4.1. Здравствени ефекат на људску популацију

Велики удео конструктивних активности везан је и одвија се у урбаним и другим густо насељеним подручјима, што као последицу излаже велики број људи суспендованим

честицама архитектонског порекла. Испитивање применом мета анализе података (Lu et al., 2015) је показало да амбијенталне ПМ10 и ПМ2.5 честице као краткорочни ефекат могу довести до повећаног морталитета изазивањем озбиљних кардио-васкуларних и хроничних респираторних болести. Испитивање оксидативног, екотоксиколошког и цитотоксиколошког потенцијала ПМ10 честица урбано – архитектонског порекла, на југа Италије (Lionetto et al., 2019) уочило је да здравствени ефекти зависе од „дозе“ (концентрације) и времена инхалације ПМ10 честица.

У циљу рекогнозиције и митигације утицаја суспендованих честица у амбијенталном ваздуху на здравље људи, Поуп и Докери (Pope and Dockery, 2006) пратили су шест суштинских истраживачких линија које су утицале на студије ефеката суспендованих честица. Као кључни евалуациони елементи издвајају се време експозиције и концентрација суспендованих честица. Истраживањем су пронађени докази функционалне повезаности изложености суспендованим честицама са морбидитетом и морталитетом кардио-васкуларних и кардио-пулмонарних болести.

Иранска истраживачка група (Ghanizadeh et al., 2018) испитивала је утицај повећане емисије ПМ10 честица током 2015. године на број хоспитализованих људи са кардио-васкуларним и респираторним болестима у граду Сандарају. Истраживање је показало да краткорочно излагање високој концентрацији суспендованих честица доприноси повећању хоспитализованих случајева, морбидитета и морталитета од око 5%, при чему је много већи проценат кардио-васкуларног морталитета у односу на респираторни.

Фејз пројекат (*PHASE Project*) бавио се испитивањем синергијског ефекта ваздушног загађења и температуре амбијенталног ваздуха у Европи на здравље популације. Иако синергијски ефекат између температуре и ПМ10 честица амбијенталног ваздуха није утврђен, потврђено је повећање кардио-васкуларног морталитета за 2,63% при експозицији повећаној концентрацији суспендованих честица (Analitis et al., 2018).

Испитивање здравственог ефекта суспендованих честица у амбијенталном ваздуху (Hime et al., 2018) пратило је и анализирано пет различитих емисионих извора честица. Поред кардио-васкуларних и пулмонарних болести у раду, суспендоване честице се доводе у везу са канцером плућа и једњака.

Глобална асоцијација ваздушног загађења и кардио-респираторних болести је кроз истраживање (Requia et al., 2018) приказала доказе повезаности суспендованих честица у амбијенталном ваздуху са повећаним ризиком хоспитализације пацијената и морталитетом. Суспендоване честице због микро и нано величине инпутују се до бронхиола и алвеола у плућима (Wang et al., 2020). Повећана изложеност већим концентрацијама ПМ10 и ПМ2.5 честица, може изазвати различите здравствене ефекте:

- кратак дах, код астматичара долази до бронхоконстрикцију (сужавање душника)
- иритација очију, носа и грла, прекомерно кашљање и појава промена у плућима
- умањена плућна функција и обољења плућа
- умањена срчана функција, која може довести до срчаног удара
- астматични напади
- СА промене
- превремени порођај, конгениталне аномалије и ниска телесна маса новорођенчета
- фатални исходи

Европска унија и Светска Здравствена (EU, 2008; WHO, 2021) организација прописале су граничне вредности за ПМ честице које износе:

ЕУ – ПМ10 честице 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; ПМ2.5 честице 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

СЗО – ПМ10 честице 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; ПМ2.5 честице 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Људска популација која према Светској здравственој организацији (WHO, 2021) борави у месту са концентрацијом ПМ2.5 честица до 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , може сматрати да живи у здравом окружењу, док је концентрација до 35  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  нездрава за осетљиву групу као што су деца, старије особе, труднице и људи са осетљивим респираторним системом. Кад се прекорачи граница од 55  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , животна средина се дефиницијом сматра нездравом а изложеност ризику висока.

#### 4.4.2. Ефекат на природно и изграђено окружење

Суспендоване честице се седиментују на земљиште, у водна тела, био и техно сферу са којом на веома комплексан начин интер реагују. Реакциони процеси зависе од структуралног и хемијског састава ПМ честица и седиментационих површина. Гравитационо наталожене честице имају хазардни утицај на природно окружење (био и техно сферу) кроз:

- Промену рН и нутријентних вредности акватичних система и водних тела;
- Деградацију храњивих материја из земљишта;
- Оштећење осетљивих шумских и пољопривредних култура;
- Деградацију екосистема;
- Амплификацију негативних девастирајућих ефеката киселих киша ( $H_2SO_2$ ,  $H_2SO_3$ ,  $H_2CO_3$ , и друге органске киселине).

Ефекти загађења амбијенталног ваздуха суспендованим честицама могу имати хазардне ефекте и по изграђену средину и културно наслеђе. ПМ честице мењају колорит и оштећују архитектонске структуре и објекте у урбаним срединама, примарно реагујући са уграђеним грађевинским материјалима (Brimblecombe and Camuffo, 2003; Hall et al., 2003; INKPEN, 1999; Leissner, 2003; Tidblad and Kucera, 2003; Watt and Hamilton, 2003; Wyzga and Lipfert, 1985; Yates, 2003; Yocom, 1979, 1958). Секундарно, суспендоване честице импактују на структуралну стабилност објеката, а посебно на елементе културног наслеђа. Развој и изградња структура од нових модерних материјала, укључио је примену различитих полимера, премаза и глазура које могу бити услед хемијског и механичког структуралног састава ПМ честица оштећене (Mohammed et al., 2021; Safiuddin, 2017; Venkat Rao et al., 2016). Осетљивост материјала на загађење амбијенталног ваздуха лако је уочљиво кроз губитак масе и боје, промену порозитета и фрагилност. Економски беневити нових материјала се често губе кроз штетне ефекте који настају под утицајем суспендованих честица (Butlin, 1990).

#### 4.5. Класификација честица

Респирабилне честице карактеришу бројне особине: величина, густина, облик и састав (ЕЕА, 2021; Mukherjee and Agrawal, 2017; WHO, 2021). Негативан утицај по здравље људи и на животну средину зависи доминантно од величине честица. Мање честице које се примарно генеришу, лако се транспортују на даљину (енг. *long range transport*) од извора емисије на велике удаљености. Хемијски састав честица утиче на густину, испарљивост, реактивност, величину честица и хазардност. Најчешће присутне честице у атмосфери су димензија од око 0,002 до 100 микрона -  $\mu\text{m}$ . У опсег укупних суспендованих честица спадају све оне које су мање од 40  $\mu\text{m}$  (Health Canada, 2001). Честице које су најважније са гледишта атмосферске хемије, контаминације амбијенталног ваздуха, физике и здравствених ефеката су честице у опсегу 0,002 до 10  $\mu\text{m}$  се класификују као:

ПМ10-2.5 - грубе честице - инхалационе честице, фракције између 2.5 и 10  $\mu\text{m}$

ПМ2.5-1 - fine честице фракције између 2.5 и 0.1  $\mu\text{m}$

ПМ1 – ултафине - нано честице, све честице < 0.1  $\mu\text{m}$

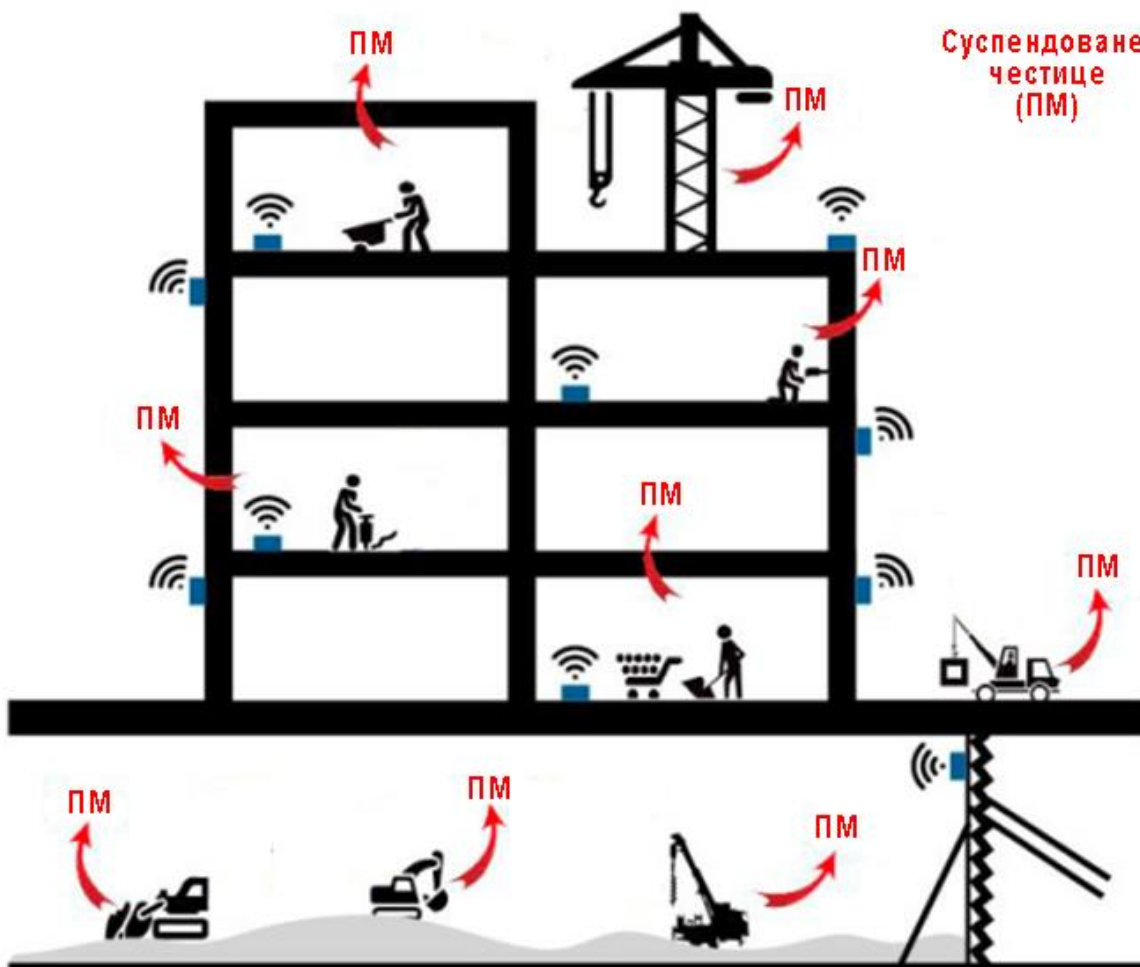
#### 4.6. Мониторинг честица

Митигација суспендованих честица пре свега ПМ10 и ПМ2.5 је један од приоритета заштите изграђене средине, смањења загађења амбијенталног ваздуха и здравственог ризика. Природни физичко-хемијски процеси редукације амбијенталног загађења, зелене површине у виду појаса се јављају као примарни системи митигације – као адсорбери и апсорбери суспендованих честица. На слици 34. приказани су системи истраживачког мониторинга суспендованих честица током урбаних трансформација и архитектонске активности које имају висок утицај на емисију.

Испитивање потенцијала суве депозиције ПМ10 и ПМ2.5 честица на зеленим крововима и зидовима (Viesso et al., 2018) је показало да се у пику емисије, одговарајућом комбинацијом вегетационих врста, концентрација суспендованих ПМ10 и ПМ2.5 честица може редуковати до 71%. Ефикасност суве депозиције суспендованих честица на

листовима биљака потврђена је и другим истраживањима (Chaudhary and Rathore, 2018; Connan et al., 2018; Lee et al., 2021; Wróblewska and Jeong, 2021). Истраживање (Wu et al., 2018) суве и мокре депозиције суспендованих ПМ10 и ПМ2.5 честица као важне мере у контроли концентрације честица у амбијенталном ваздуху, показало је да је влажна депозиција много ефикаснија од суве.

Загађење амбијенталног ваздуха ПМ честицама је наглашен хазардан проблем у урбаним срединама, посебно у срединама обухваћеним урбаним трансформацијама (Brochu et al., 2011; Southerland et al., 2022; Yadav et al., 2022; Zhang et al., 2022; Zhao et al., 2022).



Слика 34. Емисија суспендованих честица током урбаних трансформација и систем мониторинга.



ПМ10 и ПМ2.5 честице које настају и емитују се са градилишта се у пракси називају прашином. Анализа извора суспендованих честица показала је да прашина пореклом са градилишта највише утиче на концентрацију ПМ10 и ПМ2.5 честица у амбијенталном ваздуху ширег урбаног језгра (Ahmed and Arocho, 2019; Yan et al., 2019). Истраживања су показала да су архитектонске и урбане трансформације главни извор суспендованих честица у окружењу (Hong et al., 2019; Zhang et al., 2013). Велике количине формиране прашине током урбаних трансформација у архитектонским процесима као што су ископ земљишта, премештање опреме, кретање возила, и др. утичу хазардно на окружујућу животну средину. Утицај на окружење огледа се кроз повећани здравствени ризик за раднике и становнике у окружењу (Yan et al., 2019; Zhang et al., 2013), али и кроз могућност оштећења изграђене средине (Azarmi et al., 2014; Brimblecombe and Camuffo, 2003; Hall et al., 2003; INKPEN, 1999; Leissner, 2003; Tidblad and Kucera, 2003; Watt and Hamilton, 2003; Wyzga and Lipfert, 1985; Yates, 2003; Yocom, 1958, 1979).

Испитивања различитих система архитектонски процеса примењених током изградње објеката констатовали су одређену функционалну зависности емисије суспендованих честица од врсте примењених материјала (Ahmed and Arocho, 2019; Kim and Tae, 2021).

У складу са трендом пораста концентрационог нивоа ПМ10 и ПМ2.5 честица у амбијенталном ваздуху бројне земље су успоставиле планове и регулативе за смањење емисије честица (BRE, 2003; Cheminfo Services Inc., 2005; CPCB, 2017; EPAV, 1996; FOEN, 2013; GLA, 2014; GOG, 2014; НКСА, 2013; HSE, 2015; Lester, 2011; US EPA, 2010). Планови и регулативе предлажу различите мере константног мониторинга, контроле и митигације емисије суспендованих честица. Као добар пример оптималне примене мера за смањење емисије честица је јужнокорејски модел који је смањио учешће суспендованих честица насталих на градилиштима на 10% у укупној концентрацији (Kim and Tae, 2021; Yang et al., 2021).

#### 4.7. Емисија честица

Генерисање и емисија суспендованих честица насталих током архитектонских активности и урбаних трансформација простора сматрају се једним од примарних извора загађења амбијенталног ваздуха у већини земаља (Cho and Choi, 2014; Feinberg et al., 2019; Jang et al., 2017; Li et al., 2019; Yan et al., 2019; Zhao et al., 2022; Zou et al., 2016). Емисија суспендованих честица јавља се целокупним током архитектонско урбанистичких трансформација простора, што угрожава и раднике на градилиштима и резиденте, као и целокупно изграђено и животно окружење. Архитектонске активности – радови који се изводе, могу се поделити у четири основне фазе:

- земљани радови
- груби (конструктивни) радови
- транспорт материјала (употреба машина)
- фини радови (браварски, паркетарски, керамички, молерски, фасадерски радови)

У зависности од врсте активности, специфичности операција које се изводе и временских услова мењају се и концентрационе вредности суспендованих честица емитованих у амбијентални ваздух.

Процентуално у току целокупног процеса урбане трансформације простора константан удео у емисији честица са градилишта приписује се кретању механизације по привременим путевима и терену. У случају да се акватизован микс суспендованих честица изнесе са локалитета на локалне путеве, емисија суспендованих честица добија нову димензију, ствара се такозвана „удаљена емисија“. Ниво концентрационих вредности ПМ у амбијенталном ваздуху зависи примењених – непримењених митигационих мера.

## 5. МЕРЕ И МОДЕЛИ ПРЕВЕНЦИЈЕ И МИТИГАЦИЈЕ

Велики пројекти архитектонско урбанистичких трансформација простора важни су покретачи економије и економског савременог развоја градова и држава. Трансформације простора услед великих промена и великог броја радова представљају озбиљан ризик по животну средину. Неадекватним мерама заштите животне средине наноси се велики хазард целокупном животном и изграђеном окружењу кроз загађење воде, ваздуха и земљишта. Високо развијене земље препознале су проблем који суспендоване честице генерисане као последица архитектонских активности представљају по целокупно окружење и у складу са тиме дефинисале моделе и мере митигације и превенције. Дефинисани модели и мере потврђени су увођењем у законске и нормативне токове, а дефинисани бројним обавезујућим приручницима.

### 5.1. Преглед система примене мера и модела у свету

Простори урбане трансформације, градилишта се константно мењају, развијају и унапређују и као таква представљају специфичан систем са одређеним трајањем у простору и снажним утицајем на целокупно окружење. Искуства развијених земаља истичу да развој система градилишта мора пратити и развој мера за контролу и мониторинг детекције утицаја на животну и изграђену средину. Мере заштите и превенције могу се поделити у два правца:

- 1) Предвиђање критичних концентрационих тачака загађења и примена мера превенције и
- 2) Детекција повећаних концентрација загађујућих материја и примена мера митигације.

Кључни сегмент применљив у оба правца је систем техника и технологија митигације и превенције загађења. Предвиђање критичних концентрационих тачака захтева познавање и примену градитељског наслеђа, теорије и праксе у процесима процене пројектата. Процена пројектата мора узети у обзир архитектонски део пројектне документације и план извођења радова који садржи број радника, механизацију која ће се

користити, план градилишта и друге специфичне елементе везане за локацију. Након предвиђених критичних тачака у пројекту потребно је разматрати могуће системе, технике и технологије за спречавање или бар смањење повећаних емисија загађујућих супстанци. Са друге стране као примарни системи заштите целокупног окружења током извођења радова (и у случају када је урађена процена пројекта) су системи мониторинга и правовремене детекције проблема. Правовременом детекцијом проблема може се благовремено реаговати, спречити или смањити емисија повећаних концентрација загађујућих материја у окружење.

Правилницима, приручницима и помоћним документима су дефинисане смернице за заштиту животне и изграђене средине. Као изворни документ, приручници су основа припреме и имплементације плана управљања утицаја на животно и изграђено окружење, а садрже информације као што су:

- како да се избегне и минимизира утицај на окружење, што је економски бенефитнија опција од накнадног третмана ремедијације када је већ нанета штета;
- о могућем утицају конструктивних активности на окружење;
- смернице за процену и управљање;
- директне утицаје на сваки сегмент животне средине;
- предлоге добрих и ефективних пракси за митигацију и превенцију.

Методе и модели добијени из приручника и смерница се услед спецификаума сваке локације не могу директно без корекционих мера пренети на сваки пројекат идентично, и захтевају обликовање према детаљима пројектантских и локацијских услова. Интеграција смерница у пројектну фазу доприноси успешнијој, адекватнијој и ефективнијој примени мера митигације и превенције. Обавезан део прописане документације је процена ризика и окарактерисана је као идентификација и карактеризација природе постојећих и потенцијалних штетних ефеката антропогеног деловања. Пројектно припремљена процена ризика захтева свакодневно праћење промена инпутованих активности и ревизије током извођења и припреме пројекта. Ревизија служи да се разматрају новонастали и постојећи

проблеми и ризици, али и идентификују нови кроз адекватан програм мониторинга. Процена ризика може се оквирно дефинисати кроз шест корака:

1) Прикупљање података:

- геомеханички подаци терена,
- топографске промене током сваког нивоа пројекта,
- клима, временски шаблони и токови,
- план извођења радова,
- планску идентификацију постојећих зелених површина и вегетације,
- детаљи простора слободног терена у свакој фази развоја, са подацима експозиције,
- промене у природној дренажи терена, са идентификацијом извора чисте и контаминиране кишнице,
- план градилишта,
- природа и локација радова који ће се спроводити.

2) Идентификација опасности – хазардних активности

3) Анализа опасности – хазардних активности

4) Анализа консеквенци:

- дугорочне последице
- краткорочне (привремене) последице

5) Детерминација и процена укупног ризика

6) Рангирање ризика

Уз процену ризика, приручници и адекватни документи прописују и елемент управљања ризиком, што подразумева развој акционог плана који укључује мере и стратегије за смањење повећаних нивоа ризика на прихватљив ниво. Процена је да је у фази планирања пројекта примена управљања ризиком најефикаснија и економски бенефитна, и као таква смањује шансе за променама у предвиђеном инпуту и потребу за реевалуацијом. Три основна елемента управљања ризиком су:

1) избегавање ризика – модификовање дизајна у циљу избегавања штетног тока активности,

2) редукација ризика – умањење повећаног ризика ако није могућа опција избегавања ризика и садржи следеће елементе:

- повећање фреквенције надзора и мониторинга у циљу ране идентификације новонасталих ризика

- имплементација превентивног програма одржавања уређаја примењених у контроли емисије загађујућих честица у циљу смањења ризика квара опреме и у случају непредвиђених околности

3) Контрола ризика – постављањем контролних мера омогућава се самоактивациони превентивни систем који омогућава правовремену реакцију на непредвиђену промену ризика. Мере контроле емисије суспендованих честица предвиђају:

- спречавање генерисања суспендованих честица применом супресионих мера
- минимизација откривеног - отвореног терена током пројектних фаза, посебно током сувих месеци године, када је емисија честица највећа
- поплочавање и квашење путева (условљено еродибилношћу терена)
- квашење слободног терена – извора емисије честица
- постављање ограда за блокирање ветра

Систем мониторинга предвиђен за контролу квалитета ваздуха, емисије суспендованих честица током урбаних трансформација простора заснива се на троелементном кластерском систему (слика 36.). Примарни елемент система је утврђивање повећаног присуства суспендованих честица у амбијенталном ваздуху. Секундарни сегмент кластера захтева интензивнији и директнији приступ кроз квантитативну детекцију концентрационих нивоа и утврђивање извора, што омогућава примену предвиђених селектованих мера митигације. Терцијарни бокс је кључан у заштити животне и изграђене средине, састоји се од праћења примене и ефикасности предвиђених мера и модела митигације, и има могућност да у случају слабе ефикасности захтева промену или адаптацију задатих мера.



Слика 35. Троелементни кластерски систем мониторинга.

#### 5.1.1. Канада

Агенција за животну средину Канаде (енг. *Environment Canada*) у својим годишњим извештајима процењује да конструктивне активности учествују у укупној емисији суспендованих честица са око 20% (Cheminform Services Inc., 2005). Услед тога спроведена су опширна истраживања која индицирају на везу између честичне контаминације и хазардног утицаја на животну и изграђено окружење и по здравље људи. Као резултат тога Министарство животне средине унело је у стандардизацију

(енг. *Canada-wide Standards*) емисију суспендованих честица, што је довело до дефинисања приручника Најбоље праксе (енг. *Best Practices*).

Методе и технике садржане у приручнику Најбољих пракси, предвиђене су да се умањи емисија суспендованих честица са градилишта и покривају читав спектар пројектних фаза изградње. Садржане методе и модели укључују превентивне и митигационе мере емисије суспендованих честица. У циљу квалитетније сагледања свих аспеката грађевинска индустрија је подељена у четири сегмента у зависности од врсте пројекта на сегменте стамбени објекти, индустријски и комерцијални објекти, путеви и рушење и деконструкција. Сваки од сегмената садржи моделе скупљене у целине:

- Примена воде
- Супресанти прашине
- Дизајн
- Припрема терена
- Складиштење
- Возила и опрема
- Управљање материјалима и системи преноса
- Путне површине
- Фабрикација
- Прекривање површина

#### 5.1.2. Уједињено Краљевство

Примене добре праксе архитектонског и градитељског наслеђа законодавне структуре у Уједињеном Краљевству препознале су проблем честичног загађења ваздуха и донеле су законске регулативе још 1995. године у склопу четвртог дела Акта о животној средини (енг. *Part IV of the Environment Act*), који успоставља национални оквир за управљање квалитетом амбијенталног ваздуха. У циљу ефикасности мера примењен је



програм Управљање квалитетом локалног ваздуха (енг. *Local Air Quality Management - LAQM*), где је систем управљања квалитетом ваздуха препуштен локалним заједницама, а национално тело служи као регулаторни – надзорни елемент. Регулative предвиђене законом покривају управљање целокупним ефектима које урбане трансформације имају на животно и изграђено окружење и резиденте (посебно укључујући и раднике на градилиштима). Развој система и извођења просторних трансформација, пратио је и развој мониторинга и законских регулатива. 2015. године на снагу ступају нове регулативе које мењају закон из 2007. године. Регулative су приказане кроз приручник Руковање прописима на градилишту (дизајн и менаџмент) (BRE, 2003; GLA, 2014; GOG, 2014; HSE, 2015). Приручник директно повезује квалитет ваздуха са урбаним трансформацијама простора и препознаје га примарно кроз видљиву депозицију и таложење суспендованих честица и повећану концентрацију суспендованих честица. При процени ризика емисије суспендованих честица захтевани основни инпутни елементи су:

- Активности које се изводе и пратећи детаљи (употреба механизације, системи извођења, и други релевантни елементи)

- Трајање активности

- Величина градилишта

- Метеоролошки услови

- Адекватност примењених митигационих мера суспендованих честица.

Након процене ризика легислативе захтевају и примену митигационих мера, које су у законски регулисане дате кроз различите моделе и методе митигације суспендованих честица, са циљем смањења утицаја на здравље људи и окружење. Искуства су показала да суспендоване честице добро реагују на митигационе мере, под условом да су правилно примењене и координисане у склопу Плана управљања квалитета ваздуха, који је део ширег Плана управљања животном средином на градилишту.

### 5.1.3. Сједињене Америчке Државе

Федералне регулативе рекогнозирале су урбане трансформације као један од важних извора емисије суспендованих честица, и кроз Агенцију за заштиту животне средине (енг. *U.S. Environmental Protection Agency's – EPA*) издале Приручник фактора емисије „АП-42“ давне 1975. године.

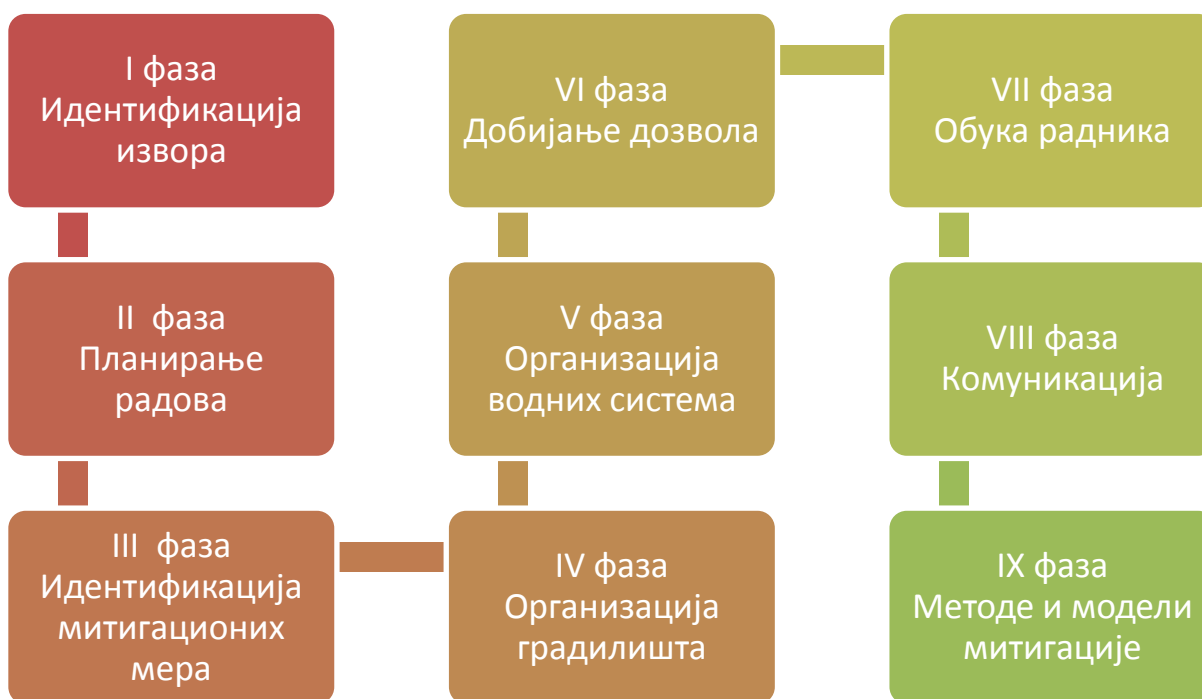
Препознајући урбане трансформације као генераторе велике концентрације суспендованих честица које могу бити штетне за људе, животно и изграђено окружење, приручник предвиђа унос врсте радова који се изводе и примењених материјала. У приручнику су приказане и мере безбедности радника. Унапређењем приручника, као и развојем нових мера и модела значајно је побољшано и систематски регулисано очување осталог градитељског окружења, хидросфере, биосфере и техносфере. Све архитектонске активности које прате урбане трансформације, током којих се генеришу суспендоване честице, детаљно су регулисане и приказане у приручницима (US EPA, 2011, 2010).

У АП-42 приказани су емисиони фактори за различите врсте активности, а даљим истраживањима емисије суспендованих честица добијени су фактори за све фазе изградње. Федералном стандардизацијом развијене су регулативе емисије хазардних полутаната, међу којима су дати и прагови концентрационих нивоа суспендованих честица у амбијенталном ваздуху – Акт чистог ваздуха (енг. *Clean Air Act*). Све регулативе везане за пројектовање објеката и урбаних елемената, као саставни део пројектне документације захтевају израду посебног пројекта контроле полутаната на градилишту. Пројекат контроле полутаната на градилишту захтева процену ризика емисије суспендованих честица и план превенције и митигације.

Узимајући у обзир да урбане трансформације долазе у различитим типовима, облицима и величинама објеката, развијени су различити системи надзора емисије суспендованих честица. Примена мониторинга суспендованих честица омогућава потврду ефикасности предвиђених супресионих мера, али и омогућава ревизију предвиђених мера и метода према потреби. Правилном применом свих прописа и мера предвиђених пројектном документацијом и позитивном праксом, омогућава се квалитетна заштита радника и очување окружујуће животне и изграђене средине.

## 5.1.4. Народна Република Кина

Кинески градови су дуго имали проблема са честичним загађењем, што је у великој мери утицало на здравље становништва и квалитет животне и изграђене средине (Andrews, 2008; Chan and Yao, 2008; Chen et al., 2013; Fang et al., 2009; Florig et al., 2002). Основни задатак при решавању тог проблема био је идентификовање главних извора емисије суспендованих честица, где су препозната три кључна извора индустрија, урбане трансформације и транспорт. Спроведена истраживања довела су до развоја нових закона и техничких правилника у циљу смањења емисије суспендованих честица.



Слика 36. Бокс фазе пројетног планирања

Сваком новом верзијом правилника повећава се обим покривених аспеката при архитектонским активностима током урбаних трансформација (Xing et al., 2018; Yan, 2020). Технички правилник је фокусиран на имплементацију кључних елементе превенције и митигације генерисања и емисије суспендованих честица у циљу смањења утицаја и заштите животне средине. Правилник захтева израду пројектне документације која садржи процену ризика генерисања и емисије суспендованих честица током урбане трансформације простора као и предлог мера и модела превенције и митигације.

Израда пројекта процене ризика садржи девет бокс фаза приказаних на слици 36. Прва фаза је идентификација потенцијалних извора и елемената на које емисија утиче. Друга фаза обухвата планирање радова у складу са потенцијалном емисијом суспендованих честица и на њу се надовезује трећа фаза у којој се идентификују потребни митигациони елементи (као што су водни системи, прскалице и други). Организације градилишта представља четврту и пету фазу са задатком да правилним распоредом и организовањем адекватне количине воде, умањи потенцијалну емисију. Шеста фазна целина везана је добијање адекватних дозвола потребних за извођење радова. Припреме и обуке радника садржане су у седмој фази и имају циљ да укажу на потенцијалне критичне тачке и начине како да се настали догађаји санирају. Осма комуникациона фаза је осмишљена да покаже повезаност окружења са извођачима урбаних трансформација, где се остварује комуникација са људима у окружењу кроз приказ архитектонских активности уз очекивани фидбек. У деветом боксу садржане су методе и модели превенције и митигације предвиђених критичних тачака емисије суспендованих честица усклађени са регулативама и законским актима.

#### 5.1.5. Индија

Индија је поред Кине друга најмногољуднија земља са великим процентом сиромашних. Испитивањем фактора који утичу на честично загађење урбане трансформације су препознате као један од главних извора. Као резултат испитивања, развијен је Водич за митигацију суспендованих честица при архитектонским активностима.

Водич покрива главне тачке генерисања суспендованих честица, композицију материјала, управљање загађењем суспендованих честица и митигационе методе и мере. Основ развоја стандарда је садржан кроз законске регулативе за заштиту јавног здравља од штетних ефеката загађења ваздуха, са циљем да обезбеди рационалан приступ да се елиминише или смањи изложеност опасним нивоима загађења ваздуха, историјски заснован на искуствима Уједињеног Краљевства усмеравајући системе управљања ка локалним јединицама власти (BRE, 2003). Централни борд за контролу загађења (енг. *Central Pollution Control Board*) под ингеренцијом Министарства за Животну средину,

шуме и климатске промене је 2009. године ревидирао Националне стандарде квалитета амбијенталног ваздуха за дванаест физичко-хемијских параметара, тј. угљен моноксид ( $\text{CO}_{(g)}$ ), азот диоксид ( $\text{NO}_{2(g)}$ ), сумпор диоксид ( $\text{SO}_{2(g)}$ ), честице (ПМ) - величине мање од 2,5 микрона (ПМ<sub>2,5</sub>), ПМ величине мање од 10 микрона (ПМ<sub>10</sub>), озон ( $\text{O}_3$ ), токсичног катјона Олова ( $\text{Pb}^{2+}$ ), амонијак ( $\text{NH}_{3(g)}$ ), бензо[а]пирен ( $\text{C}_{20}\text{H}_{12}$ ), бензен ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ), катјона арсена (As) и никла (Ni).

Услед високих концентрационих нивоа суспендованих честица, последња верзија приручника (CPCB, 2017) из 2017. године уводи спецификум везан за индекс квалитета ваздуха (енг. *Air Quality Index - AQI*). Поред највишег степена Озбиљно (енг. *Severe*), који индицира да ће загађењем ваздуха бити сви погођени, Приручник уводи нову категорију вишег реда „ванредно стање (енг. *Emergency*)“. Под ванредним стањем обухваћене су вредности за ПМ<sub>10</sub> и ПМ<sub>2.5</sub> честице од  $500\mu\text{g}/\text{m}^3$  и  $300\mu\text{g}/\text{m}^3$  респектабилно. Ниво загађења ваздуха ванредног стања индикује да је потребно предузети хитне мере за редукцију концентрационих нивоа суспендованих честица у амбијенталном ваздуху.

#### 5.1.6. Аустралија

Влада савезне државе Викторије у Аустралији је у склопу законских мера још 1996. године издала прве смернице за праћење и смањење утицаја урбаних трансформација на формирање суспендованих честица (EPAV, 1996). Смернице су дизајниране да пруже пројектантима и извођачима упутства како да имплементирају позитивну праксу у смањењу утицаја на животну средину. Економски бенефит као кључни аспект је примарни фактор имплементације мера и модела митигације емисије суспендованих честица.

Урбане трансформације при којима се не контролишу загађење проузрокују хазарде на водним токовима, ремете баланс еколошких система и заједнице животиња. Услед константних трансформација урбаних простора, смерницама је предвиђен и развој система строгих контролних мера и модела у циљу квалитета и ефикасности. Смернице за праћење и смањење утицаја представљају изворни документ у припреми и примени плана управљања ризиком у окружујућој животној средини урбаних трансформација, и садрже информације:

- како избећи и свести на минимум утицај на животну средину
- превиђања утицаја архитектонских активности на животну средину
- смернице за процену ризика и ефикасно управљање емисијом
- предлог метода и модела из позитивне праксе

Примена смерница захтева прилагођавање, адаптацију и детаљно дефинисање мера и модела према специфичностима локације урбаних трансформација. Интеграцијом мера и модела превенције емисије суспендованих честица у све фазе пројектовања омогућава минимални штетни утицај на окружујућу животну и изграђену средину.

#### 5.1.7. Европска унија

Развијене земље Европске уније и пре уједињења препознавале су урбане трансформације као важан извор емисије суспендованих честица. 2019. године у склопу програма евалуације и мониторинга – ЕМЕП, Европска Агенција за Животну средину уврстила је додатне детаље кроз директиве и приручник у коме је једно од поглавља (поглавље број. 2.А.5.б) посвећено предикцији емисије суспендованих честица током архитектонских активности (ЕЕА, 2019).

Истраживања различитих агенција Европске уније показала су да повећане концентрације суспендованих честица током урбаних трансформација простора последично могу утицати на свеукупно здравље радника и људи у окружењу, као и на био и изграђену средину (Dröge et al., 2010; ЕЕА, 2019; Werner et al., 2018). Поред емисије суспендованих честица, током архитектонских активности долази до испуштања и других полутаната у амбијентални ваздух. Сматра се да је у 2010. години више од 400.000 људи имало фаталан исход услед повећаног загађења амбијенталног ваздуха. Закони и правилници којима је емисија суспендованих честица током урбаних трансформација регулисана, донесени су на нивоу Европске уније и важе за све чланице. Примена закона у Европској унији пренета је директно на чланице и одговарајуће агенције, док је обавезни мониторинг спровођења мера под ингеренцијом задужених агенција ЕУ (ЕЕА, 2021).

## 5.2. Анализа сугестија мера и модела

Са циљем да се сагледају сви аспекти, модели и методе примењени за митигацију и превенцију емисије и генерисања суспендованих честица током архитектонских активности при урбаним трансформацијама, урађена је анализа процене са могућом предикцијом приручника, директива и техничких правилника развијених земаља као што су Канада, УК, САД, Кина, Индија, ЕУ и друге (BRE, 2003; Cheminfo Services Inc., 2005; CPCB, 2017; EEA, 2019; EPAV, 1996; FOEN, 2013; GLA, 2014; GOG, 2014; НКСА, 2013; HSE, 2015; Lester, 2011; US EPA, 2011, 2010). Дата анализа заснива се на подели мера и модела према извору настанка честица.

### 5.2.1. Анализа мера и модела према извору емисије

- Рушење објеката
  - прскање воде и супресаната
  - усклађивање са метеоролошким условима
  - постављање заштитних баријера
- Пескарење, брушење и заваривање
  - вентилација и системи екстракције
  - постављање заштитних „завеса“ за умањење емисије честица
- Трансфер и складиштење отпада
  - затворени или покривени транспортери
  - квашење водом
  - покривање контејнера на градилишту
- Кретање механизације
  - прскање воде и супресаната по предвиђеним трасама кретања
  - покривање траса кретања шљунком, бетоном или битуменом
- Дизел мотори – издувни гасови
  - одржавање и калибрација мотора
  - постављање издувних филтера где је могуће
  - лимитирати празан ход

- Земљани радови
  - квашење земље водом или супресантима
- Зидарски радови (припрема бетона, сечење камена и цигли)
  - избегавати емисију цементних ПМ честица
  - управљање складиштењем песка и шљунка
  - примена „мокрих“ техника сечења и бушења
- Штемање бетона
  - примена „мокрих“ техника
  - одговарајућа екстракција и вентилација
- Еолска ерозија складиштених материја
  - квашење водом
  - заграђивање складишта
  - покривање складиштеног материјала
- Завршна обрада
  - контрола прскања
  - усклађивање са метеоролошким условима
  - постављање заштитних бријера – завеса за умањење емисије честица

### 5.2.2. Анализа мера и модела према току пројекта

Управљање емисијом суспендованих честица на градилиштем захтева константно праћење ситуације и промена које могу утицати директно или индиректно на генерисање ПМ честица.

Надзор – мониторинг

- дневне инспекције на градилишту и око њега (провера седиментационих процеса ПМ честица на околним путевима и возилима у кругу од 100 метара),

- по потреби организовати уклањање суспендованих честица из окружења,

- у случају услова који погодују високом потенцијалу емисије, потребно је повећати фреквенцију инспекција



- у циљу квалитетног праћења утицаја на животну средину, потребно је организовати континуирани сензорски мониторинг концентрације суспендованих честица пре почетка радова.

#### Припрема и одржавање градилишта:

- плански распоредити кретање механизације и архитектонских активности тако да имају најмањи утицај на окружење,

- монтирати ограде или баријере око градилишта или архитектонских активности које имају висок емисиони потенцијал,

- одржавати чистим ограде, баријере и скеле применом мокре методе,

- заштитити материјале који имају висок потенцијал емисије суспендованих честица.

#### Механизација и транспорт:

- селектовати механизацију тако да има најмањи утицај на целокупно окружење,

- када су возила стационарна гасити моторе,

- избегавати употребу дизел генератора као главних извора струје где је могуће,

- ограничити брзину кретања на 30 км/х по поплочаним и 20км/х на земљаним путевима,

- креирати логистички план – план кретања механизације,

- трасе кретања по могућству покрити шљунком, бетоном или битуменом и/или прскати водом и супресантима,

- на улазним местима обезбедити воду за спирање материјала прилепљеног на возила (првенствено гуме),

- имплементирати систем за прање гума на изласку са градилишта, и обезбедити да након њега следи чврста површина,

- избегавати суво чишћење великих површина,
- користити затворена транспортна возила или користити прекривке,
- редовно проверавати и одржавати трасе кретања,

#### Архитектонске активности:

- примењивати опрему за сечење, штемање и тестерисање у складу са техникама сузбијања генерисања суспендованих честица, као што је квашење,
- обезбедити адекватан приступ води у близини активности високог емисионог потенцијала, и применити распрскивање воде по потребним површинама,
- користити затворена или покривена транспортна возила,
- минимизирати висину истовара материјала, и када је у могућности (не утиче на употребну вредност материјала) квасити материјал при истовару.
- по могућству извршити ревегетацију делова где су изведени земљани радови и где је изложена земља еолској ерозији,
- примена тканина, малча и других полимерних средстава, где није могућа ревегетација или покривање површине изложених зона,
- у случају покривања материјала, уклањати само део покривке потребан за адекватно извођење радова,
- избегавати гребање бетонских површина транспортом других материјала,
- осигурати да су песак и други агрегати у затвореним боксовима или да су покривени, ако није могуће применити технике квашења,
- за мање залихе финих прашкастих материјала осигурати да су њихови затворени и правилно руковати и ускладиштити.

Управљање отпадом:

- избегавати паљење ватри и спаљивање отпадних материјала,
- у зависности од отпадног материјала, материјал квасити или покривати,
- редовно одржавати чистоћу градилишта.

### 5.2.3. Анализа мера и модела према активностима

Анализом законских регулатива и смерница развијених земаља, уочавају се као три кључне активности генерисање, складиштење и транспорт (BRE, 2003; Cheminfo Services Inc., 2005; GOG, 2014; US EPA, 2011). Појам генерисања подразумева рушење, реновирање и изградњу нових објеката и инфраструктуре, а утицај и емисија ПМ честица по окружење је директна на локацији урбаних трансформација. Складиштење конструктивних материјала и грађевинског отпада без адекватног руковања могу имати висок емисиони коефицијент.

Током транспорта конструктивних материјала и отпада, као и самим кретањем механизације по градилишту генерише се и емитује велика количина ПМ честица у амбијентални ваздух. Током руковања материјалом испушта се велика количина различитих материја у животно окружење које могу изазвати различите здравствене проблеме. Велике и „теже“ честице се логично брже депонују и гравитационо седиментују, тиме чинећи мањи хазард по животно и изграђено окружење. Фине честице остају дуже у ваздуху, „лебде“ и дифузионим процесима транспортују и депонују се далеко од извора. Правилним руковањем материјалом може се смањити емисија суспендованих честица у окружење. Поред основних конструктивних материјала, на градилишту се рукује и грађевинским отпадом – представља отпад који обухвата грађевинске материјале, рушевине и руине настале током изградње, реконструкције, поправке или рушења објеката. Композиција грађевинског отпада је специфична за сваки пројекат и зависи од употребљеног типа и врсте материјала. Грађевински отпад се дели у четири основне фракције: бетон, земља, ДЧП (дрво, челик и пластика) и ЦМ (цигла и малтер). Током рушења или изградње објекта састав отпада чине земља, песак и шљунак

урачунати уз цигле и блокове, бетон, метал, дрво и друго. Најчешће главна фракција садржана од цигла, блокова, песка и шљунка чини преко 60% укупног отпада.

Мере превенције и редуције емисије суспендованих честица током транспортних активности су веома важне, посебно узимајући у обзир да су генерално материјали складиштени и транспортовани без адекватних мера заштите чиме се доприноси повећању емисије суспендованих честица у амбијентални ваздух.

Основне мере укључују:

1. Идентификацију транспортне руте са најмањом експозицијом угрожавања окружења.

2. Транспорт материјала потребно је заштитити или прекрити.

3. Транспортна возила не смеју бити претоварена да би се избегло расипање материјала.

4. Постављање адекватног броја контејнера за привремено складиштење грађевинског отпада насталог на локацији.

5. Током истовара на привременом или финалном месту складиштења користити водене прскалице или омогућити одлагање отпада са минималном дисперзијом суспендованих честица.

6. Транспортне руте морају бити одржаване и контролисане.

7. Кретањем транспортним рутама на возила се везују депоноване суспендоване честице које се даље преносе и поново враћају у амбијентални ваздух. Основна мера за спречавање даљег ширења суспендованих честица са локације је ограничавање броја излаза и стварање водених рампи при излазу са градилишта.

Мере и модели складиштена материјала најчешће се деле према месту складиштења, на маре у затвореном и мере на терену.

## Мере у затвореном:

- У свим просторијама за складиштење материјали би требали да буду затворени, посебно материјали који имају способност лаке реемисије у амбијентални ваздух,

- Цемент треба држати у затвореним просторијама или у силосима,

- Сви фини материјали требају бити чувани у затвореним џаковима.

## Мере на терену:

- Подизање заштитне ограде око локације изградње објекта,

- Постављање баријере за спречавање (умањење) ширења емисије суспендованих честица око урбаних трансформација,

- Пажљива селекција механизације,

- Распрскавање воде по терену у циљу сузбијања поновне реемисије РМ честица,

- Покривање товара током транспортних операција,

- Правилно руковање механизацијом и примена мера минимизације РМ честица,

- У случају потребе за употребом генератора електричне енергије, исти је обавезно одржавати у циљу минималне емисије,

- Одржавање механизације,

- Квашење руте кретања механизације,

- Забрана сувог чишћења радних површина,

- Постављање зелених пуфер (тампон) зона,

- Опремање радника са потребном заштитном опремом,

- Унапређење и обука радника.

Лоша контрола суспендованих честица на градилишту потенцијално може да оштети и доведе до већих кварова на опреми и механизацији, тежих респираторних обољења, умањи видљивост (магла и смог), утиче на квалитет изградње, уметнички утисак да доведе у питање и да умањи архитектонске вредности објекта.

### **5.3. Мере и модели митигације емисије суспендованих честица**

Мере и модели митигације суспендованих честица архитектонског порекла посебно су на просторима урбаних трансформација фокусирани на отворене површине и правилно управљање токовима материјала и радова. Међу моделима издвајају се посебно примена вегетације, стабилизационе и заштитне методе.

Задржавање постојеће вегетације се кроз праксу показала као најбоља одбрана која може заштитити од ерозије земљишта. Вегетација високо ефективно утиче на инхибицију кретања суспендованих честица у амбијенталном ваздуху кроз умањење брзине ветра при површини, задржавању влажности ваздуха, а корење везује честице у агрегате.

Примена стабилизационих метода (привремених или сталних) подразумева употребу стабилизационих прекривки, озелењавање, малчинг, ревегетацију, заштиту материјала и креирање ветробрана.

Стабилизационе прекривке такође познате и као прекривке за контролу ерозије, користе се у случају недостатка зелених површина и површина са наглашеном еолском ерозијом. Прекривке морају да имају одређене карактеристике као што су биоразградивост, дебљина тканине (дебља сузбија раст вегетације, док се тања користи за катализу раста), инхибиционе способности инфилтрације у слој земљишта који покрива и друге.

Успостављање зелених површина као привремене или сталне мере омогућава стабилизацију на дужи период. Посебно се примењују две методе озелењавања ручно и хидро, при чему је предност има хидро метода јер је бржа и ефикаснија, која је економски захтевнија. Као посебно ефикасна метода издваја се хидромалчинг због могућности да од тренутка постављања утиче на еолску ерозију.

Малч се најчешће прави од природних биоразградивих материјала као што су уситњено дрво и кора, сено, трава, компост и слични. Камен, песак и пластика могу се такође применити. Малчинг је перманентна стабилизациона мера која креира директну баријеру између ветра и изложене земље. Најбољи ефекат се постиже у комбинацији са озелењавањем. Након завршетка земљаних радова слободна површина би требало да се ревитализује озелењавањем. Ревегетација укључује сађење перманентне вегетације, постављање зелених травнатих трака (пружају брзу стабилизацију) и привремено озелењавање површина које немају ту финалну намену. Заштита материјала се изводи покривањем материја и лоцирањем у заштићене зоне од ветра, чиме се доприноси смањењу емисије суспендованих честица. У процесима заштите могу се применити различити материјали као што су водоотпорни тарпаулин, геотекстил, стабилизационе прекривке и други одговарајући материјали који пружају баријеру између ветра и материјала. Посебно повећано присуство суспендованих честица услед еолске ерозије на терену захтева постављање ветробранских ограда у циљу умањења емисије и трансмисије суспендованих честица. Да би се осигурао пун ефекат ветробрана потребно је да буду постављени нормално на правац ветра.

### 5.3.1. Примарна митигација

Правилно планирање током пројектне фазе израде објекта може успешно да смањи емисију суспендованих честица током урбаних трансформација простора. Уводи се појам примарне митигације – превенције, и подразумева смањење емисије суспендованих честица у пројектној фази. Посебна пажња у пројектној фази треба да се посвети следећим секцијама:

- организација градилишта
- избор примењених материјала
- ограничење саобраћаја и пређених дистанци возила на градилишту
- примена „зелених“ грађевински материјала
- избор конструкције објекта

Током планирања активности треба обухватити и припремне радове који укључују рушење постојећих објеката, земљане радове, ископ, скидање и премештање земље и

пејзажно уређење. Активности припреме терена могу утицати на генерисање значајне емисије суспендованих честица, посебно током сувих временских услова, и као такви требају да се посматрају као други земљани радови.

Све зоне градилишта треба градити, посебно и детаљно временски организовати да се подударају са извођењем радова у тој зони, што омогућава да зелени покривачи остану очувани до почетка радова у тој зони. При извођењу радова, потребно је обратити пажњу на ружу ветрова и почети радове уз правац ветра. Рад у фазама је посебно од круцијалне важности за пројекте који се изводе на већим површинама.

### 5.3.2. План руковања емисијом суспендованих честица

Организација градилишта захтева правилно планирање, тако да се максимално повећа ефикасност урбане трансформације простора смањујући директне последице емисије суспендованих честица у амбијентални ваздух. План градилишта мора бити формиран тако да инхибира или бар минимизира могуће потенцијалне изворе емисије суспендованих честица. Правилним планирањем обухваћени су улази и излази са градилишта, трасе кретања возила и механизације на градилишту, складиштење материјала и други могући извори. Кључни плански аспект организације градилишта је обавеза да се развије план контроле суспендованих честица на градилишту. План се састоји из четири основне целине:

- Идентификације извора емисије,
- Контролних мера за евалуацију извора емисије (реевалуација се примењује константно),
- Метода и модела превенције и митигације за сваки идентификовани извор,
- Програм мониторинга емисије честица.

План контроле суспендованих честица има за циљ да идентификује потенцијалне изворе емисије током различитих архитектонских активности, као што су: организација транспортних рута, складиштење, транспорт и истовар материјала, уређење радних



површина и других слободних површина које су склоне еолској ерозији. Код стабилизације еолске ерозије веома је битно имати детерминисану ружу ветрова. Управљање транспортним путевима подразумева процену оптерећења и оптимизацију предвиђених рута. Пројекат контроле емисије суспендованих честица обухвата и дефинисање контролних мера које се примењују целим током пројектовања и изградње објекта, а имају циљ да идентификују појаву предвиђених и непредвиђених извора емисије суспендованих честица, те да пруже адекватне мере за редукцију и превенцију. Након идентификовања потенцијалних извора пројектом се одређују одговарајуће методе и модели за митигацију и превенцију извора суспендованих честица. Пројектом се поред основних мера, предвиђају мере и системи мониторинга емисије током извођења радова. Од почетка извођења радова на градилишту је потребно применити планиране мере мониторинга у циљу праћења исправности постављених метода и модела митигације извора емисије суспендованих честица.

У почетној фази пројектовања потребно је поред основних, предвидети и специфичне елементе као што су потребна механизације, примењени материјали, постојеће стање инфраструктуре и системе одржавања. Адекватним прегледом и провером датих елемената утврђују се потенцијалне критичне тачке и могућности замене/примене ефективнијим методама и моделима. Увидом у стање постојеће инфраструктуре могу се избећи потенцијалне замке које могу повећати трошкове пројекта и утицати на повишену непредвиђену концентрацију суспендованих честица.

### 5.3.3. Селекција материјала

Адекватан избор примењених материјала током архитектонских активности при урбаним трансформацијама - на градилишту може имати изузетан утицај на редукцију емисије суспендованих честица при настанку али и током животног века структуре.

Употреба префабрикованих материјала и модуларних система конструкције на градилишту смањује генерисање ПМ честица. На градилиште се достављају припремљени елементи према пројекту, који се даље уклапају према пројектној шеми, чиме се умањује количина радова који су извор емисије суспендованих честица. У оквиру плана митигације и превенције суспендованих честица, у случају примене префабрикованих

елемента, потенцијална емисија настала у процесу префабрикације се занемарује, јер се подразумева да производне хале у којима се елементи обликују, примењују ефективне мере превенције и заштите од суспендованих честица. Побољшањем квалитета конструкције и примењених материјала продужује се животни век објекта, уз накнадна одржавање смањује се дугорочно потенцијални утицај који објекат може имати на животну средину.

Примена и развој нових материјала пружају могућности да се на више начина утиче на емисију суспендованих честица. Поред основних приступа где се избором материјала смањује потенцијална емисија, применом нових материјала омогућена је реакција са ПМ честицама и током животног века објекта, чиме постаје фактор ремедијације простора. Континуално се ради на унапређењу квалитета и постојаности конструктивних материјала, што као консеквенцу има дужи век различитих просторних елемената, смањује емисију током животног циклуса објекта (мања потреба за реконструкцијом, рушењем и изградњом нових објеката).

Минимизација пређених дистанци транспортних возила и механизације захтева анализу предвиђених стаза кретања. Утицај транспорта и механизације почиње кроз доставу материјала као што је бетон, асфалт и агрегати на градилиште и може генерисати значајне количине суспендованих честица. На повећане концентрације ПМ честица у амбијенталном ваздуху утиче и квалитет возила (врсте мотора и филтера за издувне гасове). Избор поплочања путне површине на градилишту у великој мери утиче на инхибицију потенцијалних извора генерисања и емисије, а зависи од ситуације на локацији и финансијских могућности извођача и инвеститора.

#### 5.3.4. Акватичне методе и модели митигације суспендованих честица

Постоје бројни извори ПМ честица на градилиштима где вода и други разнолики хемијски супресанти могу бити употребљени за митигацију и превенцију емисије суспендованих честица. Примена воде је најчешћа метода која се користи за превенцију емисије ПМ честица у амбијентални ваздух са градилишта и може бити примењена у бројним моделима превенције. Директна примена воде се у пракси показала као најпрактичнија метода, са високим коефицијентом односа ефикасности и економске

исплативости. Примена акватичних модела не захтева посебан квалитет воде која се примењује, тако да се у те сврхе може користити и техничка вода, што додатно повећава економске бенефите употребе методе.

Скупља и ефикаснија акватична метода при спречавању емисије суспендованих честица са градилишта је примена различитих хемијских супресаната. Одлике хемијских супресаната су продужено дејство (мања фреквенција употребе), лакше и брже везивање суспендоване честице, високи финансијски захтеви и потенцијални хазардни ефекат по животну и изграђену средину. Хемијски супресанти могу бити:

1. Течни полимери типа емулзије
2. Агломерација хемикалија: лигносулфонати, полиакриламиди...
3. Цементни продукти
4. Производи на бази нафте
5. Хлоридне соли

Квалитетне примене супресаната захтева познавање услова локације и ефикасност методе митигације суспендованих честица у садејству са потенцијални утицај на животну и изграђену средину. Захтеви квалитетне примене супресаната огледају се кроз дефинисање:

- хазардности, биоразградивости и растворљивости у води супресантске супстанце,
- ефекта на животно и изграђено окружење и нивоа заштићености подручја.

Поред негативних потенцијала које хемијски супресанти имају и вода потенцијално може бити агресивна и корозивна. Прекомерна и непланска употреба воде може довести до спирања, нестабилности земљишта, транспорта загађујућих супстанци, ерозије и умањити продуктивност селектоване механизације. Висок ниво влажности земљишта и материјала који се транспортују, не захтева употребу додатних супресаната.

#### 5.3.4.a. Методе примене воде

Током примене метода и модела у којима се користи вода потребно је контролисати коефицијент ефикасности. Ефикасност примене водених метода и модела зависи од количине примењене воде по јединци површине, фреквенције апликације, брзине кретања и модела механизације, метеоролошких услова који утичу на евапорацију. Могу се применити следеће методе:

- Током радова на терену (земљани радови), вода може бити примењена пре активности ископа у циљу повећања процента влажности земљишта, са циљаном дубином квашења до захтеваних мера ископа (по потребни током ископа поново распрскавати).
- Вода треба бити примењена у подручју активних земљаних радова у потребној количини и фреквенцији да би се спречило ширење видљиве емисије суспендованих честица. Распоред и фреквенција распрскавања воде требају бити организовани тако да не изазову спирање и ерозију земљишта. На крају сваког радног дана третирати све изложене површине водом у циљу стварања стабилизационог слоја - „корице“.
- Вода може бити континуално распрскавана испред механизације (фреквенција зависи од влажности земље и временских услова).
- Ниво влажности земљишта треба одржавати на дневној бази свих површина које су неактивне. Аутоматске прскалице могу бити постављене у циљу остваривања оптималних услова.
- Потребно је организовати адекватан приступ води (цистерне, колектори, директни прикључци на водоводну мрежу и друго) на целом урбанитету, посебно циљајући критичне тачке емисије ПМ честица.
- Постављање посебних распрскивача (стварају водену измаглицу) на ограду градилишта у циљу спречавања ширења суспендованих честица у окружење (животно и изграђено).
- У процесима складиштења на неким материјалима може се развити заштитна „корица“ применом воде. Вода може бити примењена на површине свих отворених складиштених материјала на дневној бази у случају еолске ерозије и повећане емисије

суспендованих честица. Посебно обратити пажњу на врсту и својства материјала (материјали који реагују са водом не смеју долазити у контакт).

- Материјал који се транспортује (обратити пажњу на својства материјала) може бити помешан са водом при утовару или површину материјала наквасити након утовара.
- Вода мора бити доступна током операција утовара и истовара материјала.
- Тестирати проценат влажности материјала и садржај финих честица (силта).
- Материјал треба бити наквашен 15 минута пре руковања или транспорта.
- Током транспорта вода се може поново аплицирати по потреби
- Прање одређених материјала може бити ефективно у спречавању емисије суспендованих честица
- Примена мокрог система за сузбијање емисије суспендованих честица сматра се високо успешном методом, при чему је оптимална величина капљица воде 500  $\mu\text{m}$  (финије честице су се показале мање ефективне услед смањеног површинског напона).
- Вода по потреби треба бити нанета на све непоплочане путеве које користе транспортна возила и механизација. Оптимална фреквенција квашења се одређује на основу услова на локацији. Потребно је обратити пажњу да не дође до спирања приликом квашења путева
- При процесима рушења објеката и реконструкције, вода се може применити у циљу смањења генерисања суспендованих честица у одређеним случајевима:
  - код екстеријера објеката пре иницијалних активности рушења и континуално током целог процеса рушења,
  - након разношења (при коришћењу експлозива) и по потреби током управљања и транспорта насталог грађевинског отпада,
  - на непоплочаним путевима и површинама унутар подручја рушења на којима ће механизација радити.

#### 5.3.4.б. Методе примене хемијских супресаната

Хемијски агенси могу да утичу да суспендоване честице лакше пенетрирају у скафандере водене капљице (енг. *water droplets*), повећавајући укупни контактни потенцијал. Супресанти су хемијске специје дизајнираних карактеристика тако да

повезују суспендоване честице у веће конгломерне системе, чинећи их „тежим“ и умањујући њихов аеробилни и кинетички потенцијал. Висок ниво успешност супресаната у митигацији и превенцији емисије суспендованих честица добијен је са великим потенцијалним утицајем на животну средину, те је стога веома важно обратити пажњу на састав супресанта пре употребе. У циљу ефикасне примене и минималних утицаја по окружујућу животну средину, супресанти морају бити употребљени према упутству и спецификацијама произвођача. Ефективност и трајање хемијских стабилизатора зависи од фреквенције примене, рН земљишта, процента влажности земље и ваздуха, количине сунчеве светлости, вегетације и саобраћаја. Супресанти могу бити употребљени у свим фазама урбаних трансформација:

- хемијски стабилизатори могу бити примењени на профилисане површине унутар пет радних дана од ископа;
- обрађене површине које се не користе требају да су стабилизоване;
- водорастворљиве површински активне материје (ПАМ) повећавају ефективност квашења пробијајући иницијални отпор сувог земљишта на воду. ПАМ-ови са економског и еколошког аспекта имају бенефите смањења потребне воде при менаџменту емисије суспендованих честица;
- стабилизирати хемијским супресантима складиштене расуте материјале, као и грађевинске материјале који се не користе активно;
- много ефикаснија метода од примене воде, директно на складиштене грађевинске материјале је примена хемијских агенаса, јер дозвољавају много екстензивније распрскавање;
- пена може бити употребљена уместо хемијских ПАМ-ова за редукцију емисије суспендованих честица током управљања и складиштења материјала.
- материјали у транспорту требају да се стабилизују супресантима према могућности транспортованог материјал;
- хемијски супресанти суспендованих честица имају мању фреквенцију потребу за поновним наношењем у односу на воду;

- на тешко оптерећеним путним не поплочаним површинама, потребна је претходна припрема земљишта;
- већина хемијских продуката захтева радну температуру изнад тачке смрзавања;
- најчешће коришћени хемијски супресанти ефикасни и на температурама испод 0°C су  $MgCl_2$  и  $CaCl_2$  у складу са криоскопским феноменима снижавања тачке мржњења;
- за суспензију суспендованих честица са не поплочаних путних траса могу се употребити и полимери поливинил алкохола, акрилни кополимери и водене емулзије нафте;
- стабилизација грађевинског отпада након рушења са периодичним понављањима;
- стабилизација окружујућих површина након рушења;
- не поплочане површине на којима ће се механизација кретати и радити.

#### 5.3.5. Примена ограда

Са циљем да се умањи ефекат ветра и еолске ерозије примењују се перманентне ограде око објекта у целокупном трајању урбаних трансформација или привремене ограде намењене временски дефинисаним захтевима. Постављање ограда на градилишту одвија се према предвиђеним и дефинисаним активности и роковима. Ограде против ветра – ветробрани захтевају карактеристике:

- Баријере морају имати минималну висину два метра и порозност мању од 50%
- Доњи део оградe мора бити адекватно усидрен тако да спречава разношење материјала испод оградe
- Баријере требају бити постављене према ружи ветра
- Ограде морају бити одржаване на функционалном нивоу
- Накупљене честице на ветробранима требају периодично бити уклоњене.

Као ветробрани могу се користити различити елементи: дрвеће, грмље, шперплоче, чврсти материјали, мрежаста материјали са малом порозношћу, полимери и други. Ако се у финалном пројекту налазе зидане ограде, могу се искористити као замена ветробранима.

### 5.3.6. Примена вегетационих метода

Површине терена на којима су завршени земљани радови требају бити поново покривени вегетацијом у што краћем року од завршетка активности. Покривање земљишта мора бити довољно компресовано да излаже минималне површине нестабилизоване земље. Контролна мера обнове зеленог прекривача по потреби треба бити поновљена до формирања стабилизоване површине. Покривка земље треба бити завршена до финалне употребе објекта. Карактеристике финалног зеленог покривача и вегетације морају одговарати нативном окружењу, са пажњом да се у екосистем не унесу инванзивне врсте које могу угрозити постојећи биом. Потребно је спречити моторна возила и друге видове кретања по зеленим површинама инсталацијом баријера, ограда, капија, знакова и других ефективних мера.

Привремено озелењавање или малчинг могу бити примењени на чист терен да би се урадила превенција еолске ерозије и емисије суспендованих честица. Примена ове методе захтева одржавање нивоа влажности земљишта. Малч може заштитити површину земље док не израсте зелени вегетациони покривач и временом преузме улогу. Лаке врсте малча захтевају додатне акције као што су механичко набијање или примена хемијских агенса. Примена малча као помоћне баријере до реозелењавања обухвата:

- Малч од сена – пресује се на дубину од 5cm
- Малч од сламе - пресује се пресован на дубину од 5cm
- Малч од шљунка – величина пречника елемента може бити од 2-3cm

### 5.3.7. Методе стабилизације каменом, земљом и геотекстилом

За потребе стабилизације изложених површина могу се употребити груби шљунак или дробљени камен као практични супресанти суспендованих честица. Величина камена



може утицати на ерозију и емисију суспендованих честица, где је при јачим ветровима (висок интензитет и брзина) потребна већа величина камена. Поред камена, могу се користити и мање еродабилни слојеви земље, док је на градираним површинама посебно ефикасан геотекстил. Набијање прерађеног земљишта изводи се ваљцима или другом сличном опремом, чиме се смањује еродибилни потенцијал обрађеног дела терена. Стабилизација каменом, земљом или геотекстилом често се због повећања ефикасности комбинује са акватичним методама и моделима .

### 5.3.8. Методе и модели складиштења материјала

Складиштења материјала захтева примену метода базираних на редукцији експозиције материјала ветру. Основна мера превенције се изводи при организацији градилишта, тако да се лоцирање и сви процеси складиштења (одлагање, утовар и истовар) материјала одвијају у смеру правца ветра при граници градилишта. Као секундарна мера примењује се ограђивање или покривање складиштеног материјала, што омогућава редукцију еолске ерозије и контролу емисије суспендованих честица. У процесу ограђивању примењују се три основна модела:

- тространи бункер – захтева да минимална висина и дужина стране бункера одговара висини складиштеног материјала, удаљеност од материјала не сме бити већа од две висине складиштеног материјала, а материјал кориштен за ограђивање не сме имати више од 50% порозности

- складишни силоси – примењују се за fine суве прашкасте материјале као што је цемент, и потребно је да буду опремљени технологијом за контролу емисије ПМ10 и ПМ2.5 честица

- Објекти са отвореном страном или који комплетно затварају грађевински материјал опремљени технологијом за контролу суспендованих честица

- Цераде, пластика и други материјали могу бити употребљени као привремени прекривачи грађевинског материјала и захтевају сидрење, јер при налетима ветар може да их уклони.

Мање количине или краткорочно неактивни складиштени материјал треба бити ограђен или прекривен док је веће неактивне количине потребно прекрити посебним тканинама или травом. Травнати прекривач који је скинут у припреми градилишта може бити искоришћен у прекривању складиштеног материјала који је неактиван дужи период. Прекривање и ограђивање треба бити пажљиво испланирано и постављено у ситуацијама у којима је то могуће.

### 5.3.9. Модели контролисаног улазног места

Стабилизовани контролисани улаз, назива се и прелазом између такозване чисте зоне и прљаве зоне – зоне грађења, најчешће се изводи од набијеног агрегата (најчешће шљунка) са могућим примесама геотекстила. Локација контролисаног улазног места предетерминисана је пројектом као кључно место циркулације саобраћаја са градилишта ка јавном путу, улици, отвореном простору или паркинг простору, и *vice versa*. Ефикасно помаже у заштити површине локације и спречава напуштања тла/седимената са простора урбане трансформације, као и даљу емисију суспендованих честица у окружење спирањем на путу са точкова возила која напуштају градилиште. Контролисана приступна тачка пружа директан мониторинг и олакшава управљање и приступ возила за утовар и истовар. Важан фактор ефикасности контролисаног улазног места је обука радника (укључујући подизвођаче, возаче испорука итд.).

У процесу стабилизације и организације контролисаног улазног места примењују се најчешће модели:

- путна траса израђује се са подлогом од геотекстилних материјала, те апликације префабрикованих путних облога, агрегата и рециклираних бетона.
- постављање ограда и контролне кућице
- постављање баријера за задржавање и механичко уклањање блата
- постављање опреме за аутоматско или ручно испирање гума применом воде.

#### 5.4. Ефикасност модела и метода

Креирање квалитетног решења проблема изражене емисије суспендованих честица захтева примену искуства и најбољих пракси. Развијени модели и методе покривају све фазе пројекта почевши од дизајна, припреме терена, фабрикације, уређења простора, рушења, деконструкције и реновирања са циљем митигације суспендованих честица. Хијерархијска шема увек ставља превенцију емисије на прво место испред контроле већ емитованих честица као економски и еколошки ефикасније методе. Услед бројних метода и техника поставља се питање ефективности и применљивости адекватних метода умањења суспендованих честица из амбијенталног ваздуха. Посматрање сваке локације понаособ као специфичног проблема, са задатим могућностима као основним параметрима селекције активности (методе, модели, технике и технологије) представља основу развоја плана превенције суспендованих честица. Под могућностима се подразумевају питања инвестиционе исплативости (цена имплементације), последице по животну средину и други фактори битни за селекцију и имплементацију умањења емисије. Проблем емисије суспендованих честица током урбаних трансформација у простору је опште познат, а наглашено повећање емисије ПМ10 и ПМ2.5 честица у окружење захтева додатне финансијске издатке за митигацију. Правилно осмишљен план умањења емисије суспендованих честица кључан је у смањењу издатака пројекта.

Као пример добре праксе могу се узети грађевинске фирме у Канади, јер су у великој мери имплементирале различите праксе у циљу редукције емисије суспендованих честица у амбијентални ваздух, показало је истраживање спроведено од стране Хеминфо сервиса (енг. Cheminfo Services). Применом редукционих мера ПМ10 и ПМ2.5 честица у складу са регулативама могуће је остваривање разних бенефита. Најчешће примењивана и најосновнија мера за спречавање емисије ПМ честица у амбијентални ваздух, коју примењују грађевинске фирме у Канади је распрскавање воде.

Разноликост грађевинске индустрије огледа се у величини и намени пројеката и објеката који се изводе. Насупрот разноликости грађевинске индустрије, повишени концентрациони нивои емисије честица појављује се у зависности од фазе пројекта. Правилна идентификација извора емисије ПМ честица омогућује правовремену примену

адекватних мере и модела, што резултује смањеним концентрационим нивоима ПМ честица у амбијенталном ваздуху и смањеним економским издацима. У табели 2. приказане су селектоване методе и мере кроз однос употребне (митигационе) и економске ефикасности.

Мера	Ниво умањења емисије суспендованих честица - Ме	Цена -Ц
<b>Примарне – планске мере</b>		
План руковања емисијом ПМ честица	Висок	Ниска
Мониторинг емисије ПМ честица		Висока
Селективна употреба материјала	Висок	Средња
Ограничење активности	Средњи/висок	Средња/висока
Прекид радова	Висок	Веома висока
Обука и опрема радника	Средње/висок	Ниска
<b>Вегетационе мере</b>		
Задржавање постојеће вегетације (где је то могуће)	Висок/Врло висок	Занемарљива
Привремено ограђивање површина у циљу ретенције вегетације	Врло висок	Средња
Стабилизационе покривке и геотекстил	Висок	Средња/висока
Озелењавање - ручно	Висок	Средња
Озелењавање – хидро	Висок	Висока
Озелењавање - хидромалчинг	Врло висок	Висока/врло висока
Малчинг	Средњи	Висок
Прогресивна ревегетација	Врло висок	Занемарљива
Зелене пуфер зоне	Висок	Средња
<b>Методе транспорта и руковања материјалом</b>		
Правилно руковање материјалом	Средњи	Занемарљива
Покривање складишног материјала	Висок	Ниска/средња
Покривање материјала током транспорта	Висок	Ниска/средња
Машинска уградња прашкастих материјала	Средњи	Средња
Заштитне завесе	Средњи/висок	Ниска/средња
Ветробрани (ограде)	Средњи/висок	Врло висока
Контролисано улазно место	Низак/средњи	Ниска/средња

Спирање таложених честица са тачкова (механички и аутоматски)	Средњи/висок	Ниска/средња
Селективна употреба механизације	Средњи	Ниска/средња
Поплочање путева	Средњи	Ниска/средња
Дефинисање путева кретања	Средњи	Висока
Ограничење брзине	Средњи	Занемарљива
Квашење путева транспорта	Средњи	Средња
Одржавање	Средњи	Ниска/средња
<b>Акватичне мере</b>		
Распрскавање воде – кола за воду	Високо	Ниска/средња
Распрскавање воде – распрскивачи	Врло висок	Средња/високо
Распрскавање воде – ручно	Средње/високо	Ниска/средња
Употреба супресаната	Средње/високо	Средња/високо

Табела 2. Ефикасност мера – однос цене и успешности митигације.

### 5.5. Коefицијент применљивости методе

За потребе докторске дисертације по први пут на основу посматраних параметара и локација развијен је коefицијент применљивости  $K_{\Pi}$  селектованих метода на појединачним урбанитетима.

$$K_{\Pi} = Me - Ц + Ни - Нз + До$$

$K_{\Pi}$  – коefицијент применљивости

$Me$  – Ефикасност митигационе мере (1-3)

$Ц$  – цена (0-2)

$Ни$  – Ниво искуства - обучености руководиоца пројекта (1-3)

$Нз$  – Ниво захтевности посматране мере (0-2)

$До$  – Доступност опреме (-1 до 2)

Коефицијент применљивости може имати вредности између -3 и 8. Вредности између -3 и 0 значе да се изабрана метода не треба примењивати на селектованој локацији. Минимална могућност примене оптималне методе налази се у рангу  $K_p$  од 0 до 3, а вредности веће од 3 приказују методу као применљиву на изабраној локацији.

Ефикасност митигационе мере има вредности од 1 до 3, где низак ниво ефикасности има вредност 1, средњи вредност 2, док висок има вредност 3. Коефицијент цене има вредности 0 за када су потребна минимална средства за извођење методе, 1 за средња и 2 за велике новчане издатке. Вредности  $M_e$  и  $C$  дате су у табели 2. при чему вредности одговарају номенклатури за  $M_e$ : 1 – низак, 2 – средњи, 3 – висок и  $C$ : 0 – ниска/занемарљива, 1 – средња и 2 – висока. Искуство, тј. обученост руководиоца пројекта вреднује се: низак ниво искуства - 1, средњи ниво - 2, висок ниво знања и искуства - 3, при чему максималну вредност не може имати руководиоца који претходно није имао искуства у вођењу митигационих мера. Захтевност посматране мере подељена је у три нивоа: једноставне - 0, мере које захтевају минимум компетенције -1 и компликоване методе које захтевају знање или искуство -2. Доступност опреме посматра се као: опрема доступна на градилишту - 2, не комплетна опрема у поседу извођача - 1, на локацији не постоји потребна опрема нити је поседује извођач, а могуће ју је набавити у кратком року - 0 и опрема која захтева компликован или дуг процес набавке, тј. тренутно није доступна за набавку или је нема на лагеру -1.

## 5.6. Анализа законског уређења у Републици Србији

Постојећи законски акти препознају суспендоване честице као загађујуће материје присутне у амбијенталном ваздуху. Стандардизацијом квалитета ваздуха ради заштите здравља, према Директиви о квалитету ваздуха (2008/50/ЕС), СЕПА – Агенција за заштиту животне средине Републике Србије, донела је граничне концентрационе вредности за суспендоване честице и то на дневном нивоу  $PM_{10} = 50 \mu g/m^3$  и  $PM_{2.5} = 25 \mu g/m^3$ . Међутим емисија суспендованих честица генерисаних током архитектонских активности при урбаним трансформацијама није споменута ни у једном законском акту, као ни у Регистру испуштања и преноса загађујућих супстанци.

Законско уређење изградње објеката препознаје у појединим члановима постојање директног утицаја ПМ на окружујућу изграђену и животну средину, као и могући утицај на здравље, међутим суспендоване честице као основни чинилац загађења амбијенталног ваздуха директно нису препознате. Акти подразумевају да послодавац и запослени, односно њихови представници за безбедност и здравље на раду сарађују и доследно имплементирају принципе заштитите животне средине и заштите на раду.

Постојећи законски акти и прописи садрже адекватне платформе за умањење утицаја на окружења – изграђену и животну средину, за унапређење према новим захтевима и систематизацијама очувања квалитета амбијенталног ваздуха имплементацију мера и метода превенције и митигације суспендованих честица насталих током архитектонских активности при урбаним трансформацијама. Предвиђа се да извођач радова организује градилиште на начин којим ће обезбедити приступ локацији, несметано одвијање саобраћаја, сигурност објеката и лица (на градилишту и у окружењу) и мере за заштиту животне средине, те изводи архитектонске активности према пројектној документацији, у складу са прописима и стандардима. За време извођења активности примењују се мере безбедности и здравља на раду:

- одржавање уређености и задовољавајућег нивоа чистоће и хигијене градилишта,
- избор локација радних места и обезбеђивање доступности радним местима одређивањем саобраћаних површина, пролаза, прелаза и друго за запослене и опрему за рад,
- утврђивање мера и модела руковања примењеним материјалима,
- одржавање и испитивање средстава за рад и инсталација у исправном стању,
- планирање и утврђивање локација и мера за складиштење, одлагање и уклањање дефинисаних материјала и отпада (шута).

Техничка упутства захтевају да шема градилишта – урбаних трансформација садржи детаље:

- Дужине појединих страна грађевинске парцеле
- Висинске коте постојећег земљишта и нивелације
- Регулационе и грађевинске линије и положај и спратност објекта
- Положај и бројеве суседних катастарских парцела и зграда као и називи улица
- Приказ објекта на коме се изводе радови
- Радни положај опреме за рад, са уцртаним маневарским зонама код покретне опреме за -рад, манипулационим зонама код дизалица уз шематски приказ линије заштитних ограда, запрека и друго.
- Локације радних и помоћних просторија, просторије за одмор и смештај, просторије за пружање прве помоћи са уцртаним безбедним прилазима при коришћењу и одржавању
- Трасе саобраћајних површина
- Приказ Локације за паркирање и одржавање возила са припадајућим просторијама, са уцртаним безбедним прилазима
- Приказ локације за складиштење материјала, монтажних елемената и готових производа са уцртаним безбедним прилазима
- Приказ енергетских објекта и инсталација, са уцртаним безбедним прилазима при коришћењу и одржавању
- Приказ мреже питке, техничке и отпадних вода, са објектима и опремом за коришћење и одржавање и начина за спречавање приступа неовлашћеним лицима



- Ситуација затечених објеката на градилишту са приказом начина обезбеђења лица, возила и ових објеката
- Границе градилишта и начин спречавања приступа неовлашћеним лицима, возилима и животињама
- Начин и организација извођења радова (технолошки и радни процес)
- Преглед средстава и опреме за личну заштиту на раду према пословима који захтевају њихово коришћење

У пројектној фази уређења градилишта потребно је пројекат извођења радова ускладити са шемама положаја постојећих активних инсталација електричне енергије, ПТТ уређаја, водовода, канализације, гасовода и других, након чега се сачињава упутство о извођењу радова у коме су садржане мере и модели извођења радова. Уређење и одржавање путних траса у оквиру простора урбаних трансформација изводи у складу са законским регулативама, и захтева да саобраћајнице по чврстоћи, нагибу и осталим путним елементима морају бити прилагођене возним и осталим карактеристикама механизације која се креће по њима. Брзина кретања механизације и возила је дефинисана и не сме да прелази 20 km/h. Правилником о уређењу градилишта захтева оградивање градилишта чврстом оградом у циљу обезбеђења простора за извршење радова, складиштење грађевинског материјала, маневарски и манипулациони простор оруђа и уређаја за рад, смештај привремених и помоћних објеката и инсталација. Дефинисано је постављање сталног чуварског надзора и знакова упозорења на улазу, осветљење радних површина и саобраћајница, заштита суседних објеката, каблова под напоном, цевовода, пролаза (конструкције за заштиту пада материја).

### **5.7. Предлог применљивих мера и модела на нивоу Републике Србије**

Детаљном анализом метода и модела приказаних у приручницима и техничким упутствима развијених земаља дат је предлог (табела 3.) кроз аспект могућности примене, економских захтева и ефикасности у митигацији суспендованих честица.

Мера	Ниво умањења емисије суспендованих честица	Могући ниво примене	Цена
<b>Примарне – планске мере</b>			
План руковања емисијом ПМ честица	Висок	Висок	Ниска
Мониторинг емисије ПМ честица	-	Средњи	Висока
Селективна употреба материјала	Висок	Средњи	Средња
Ограничење активности	Средњи/висок	Средњи	Средња/висока
Прекид радова	Висок	Низак	Веома висока
Обука и опрема радника	Средње/висок	Низак	Ниска
<b>Вегетационе мере</b>			
Задржавање постојеће вегетације (где је то могуће)	Висок/Врло висок	Низак	Занемарљива
Стабилизационе покривке и геотекстил	Висок	Низак	Средња/висока
Озелењавање	Висок	Средњи	Средња/висока
Малчинг	Средњи	Средњи	Висок
Зелене пуфер зоне	Висок	Средњи	Средња
<b>Методe транспорта и руковања материјалом</b>			
Правилно руковање материјалом	Средњи	Средњи	Занемарљива
Покривање складишног материјала	Висок	Средњи	Ниска/средња
Покривање материјала током транспорта	Висок	Средњи	Ниска
Машинска уградња прашкастих материјала	Средњи	Висок	Средња
Заштитне завесе	Средњи/висок	Средњи	Ниска/средња
Ветробрани (ограде)	Средњи/висок	Висок	Врло висока
Контролисано улазно место	Ниски/средњи	Висок	Ниска/средња
Спирање седиментираних честица са точкава (механички и аутоматски)	Средњи/висок	Средњи	Ниска/средња
Селективна употреба	Средњи	Средњи	Ниска/средња

механизације			
Поплочање путева	Средњи	Средњи	Ниска/средња
Дефинисање путева кретања	Средњи	Висок	Висока
Ограничење брзине	Средњи	Висок	Занемарљива
Квашење путева транспорта	Средњи	Висок	Средња
Одржавање	Средњи	Низак	Ниска/средња
<b>Акватичне мере</b>			
Распрскавање воде	Средње/високо	Висок	Ниска/средња
Употреба супресаната	Средње/високо	Висок	Средња/високо

Табела 3. Применљиве мере и модели на нивоу Републике Србије

## 6. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

### 6.1. Примена мера и модела превенције и митигације

Истраживачке активности у оквиру аналитичко експерименталног дела дисертације примене селектованих мера и модела превенције и митигације спроведене су по први пут на нивоу града Новог Сада 2019. године. У току 2019. године праћено је 100 активних градилишта (слика 1.) са циљем да се утврди ниво примене дефинисаних модела и метода митигације и превенције генерисања и емисије суспендованих честица.

У разговору са пројектантима план руковања и мониторинг емисије суспендованих честица нису законом регулисани и не изводе се. Активности као што су прекид радова и ограничење активности примењују се само у екстремним условима, који су ретко када проузроковани генерално емисијом суспендованим честицама. Селективна употреба материјала у великој мери обавља се кроз призму економских фактора, док се фактор утицаја на емисију суспендованих честица не узима у разматрање. Обука и опрема радника је одговорност извођача радова и заснива се на обуци инжењера који обављају надзор и руководе радовима, док се опрема као и обука заснива на основним принципима заштите на раду, без детаљнијег приказа могућности утицаја суспендованих честица.

Са задатком ефикасног мониторинга примене мера и модела митигације емисије суспендованих честица, посматране су активности: задржавање постојеће вегетације, стабилизационе покривке и геотекстил, озелењавање, малчинг, зелене пуфер зоне, правилно руковање материјалом, покривање складиштеног материјала, покривање материјала током транспорта, машинска уградња прашкастих материјала, заштитне завесе, ветробрани (ограде), контролисано улазно место, спирање таложених честица са точкава (механички и аутоматски), селективна употреба механизације, поплочање путева, дефинисање путева кретања, ограничење брзине, квашење путева транспорта, одржавање, распрскавање воде и употреба супресаната. Мере зелених пуфер зона искључене су из истраживачког мониторинга, јер су на нивоу града Новог Сада у склопу урбанитета и урбаног развоја окружења, зелене пуфер зоне инкорпориране у срж квалитетних урбаних простора. Селективна механизација, као и селективна употреба материјала условљена је са

више чинилаца, првенствено механизацијом коју поседује извођач, доступношћу механизације (за изнајмљивање) на тржишту и економским факторима.

Резултати мониторинга (табела 4.) приказују недовољну примену детерминисаних мера и модела превенције и митигације емисије суспендованих честица. Мере коју су у потпуности или у великој мери примењене су дефинисање путева кретања, ограничење брзине, ветробрани (ограде), контролисано улазно место, машинска уградња прашкастих материјала (89%) и поплочање путева (73%). Примена потпуно примерених мера може се уочити пре свега у законској регулативи која налаже поставку контролисаног улазног места, постављање ограде око простора урбане трансформације, дефинисања траса кретања механизације као и ограничења брзине на 20 км/х. Под машинском уградњом прашкастих материјала најчешће се сматра машинска уградња малтера. Машинским путем умањује се у великој мери расипање материјала у преносу и у процесу уградње, при чему се ова техника сматра бржом и квалитетнијом, а услед тога и економски исплативијом, што је чини практичнијом у примени (89% праћених локација). Током мониторинга, под појмом поплочања пута посматране су све варијанте у којима трасе кретања возила и механизације садрже неки додатни агрегат или је земља са градилишта додатно насута и набијена. На седамдесет три посматране локације постављено је поплочање пута, што се током радова манифестовало у побољшаној комуникацији и кретању механизације и радника, олакшаном и убрзаном извођењу архитектонских активности током урбаних трансформација.

Низак проценат (између 20 – 50%) примене детерминисаних митигационих модела и мера запажа се при правилном руковању материјалом, покривању материјала током складиштења и транспорта, квашења путева, распрскавање воде и постављања заштитних завеса (20, 23, 33, 30, 25, 25% респектабилно). Руковање материјалом зависило је највише од радника и односило се на искуство при чему су искуснији радници видно утицали на пажљивије руковање материјалом. Покривање током складиштења најчешће се обављало током екстремних услова при јаким налетима ветра и то на складиштену материјалу који се неће користити тог дана. Током транспорта покривање материјала зависило је од опремљености превозног средства и дужине транспорта. На селектованим локацијама уочен је низак али приметан проценат квашења транспортних рута и отворених површина,

као и распрскавања воде током архитектонских активности при видљивој емисији ПМ честица, што је директна одлука руководиоца и нивоа едукације и искуства одговорног инжењера. Примена заштитних завеса уочена је у фази завршних радова током обраде фасаде и део је добре праксе појединих извођачких компанија.

Мера	Процент примене
Задржавање постојеће вегетације (где је то могуће)	1 %
Стабилизационе покривке и геотекстил	0 %
Озелењавање	3 %
Малчинг	0 %
Правилно руковање материјалом	20 %
Покривање складиштеног материјала	23 %
Покривање материјала током транспорта	33 %
Машинска уградња прашкастих материјала	89 %
Заштитне завесе	25 %
Ветробрани (ограде)	100 %
Контролисано улазно место	100 %
Спирање таложених честица са точкава (механички и аутоматски)	0 %
Поплочање путева	73 %
Дефинисање путева кретања	100 %
Ограничење брзине	100 %
Квашење путева транспорта	30 %
Одржавање	9 %
Распрскавање воде	25 %
Употреба супресаната	0 %

Табела 4. Резултати мониторинга примене дефинисаних мера митигације суспендованих честица на 100 активних градилишта у току 2019. године.

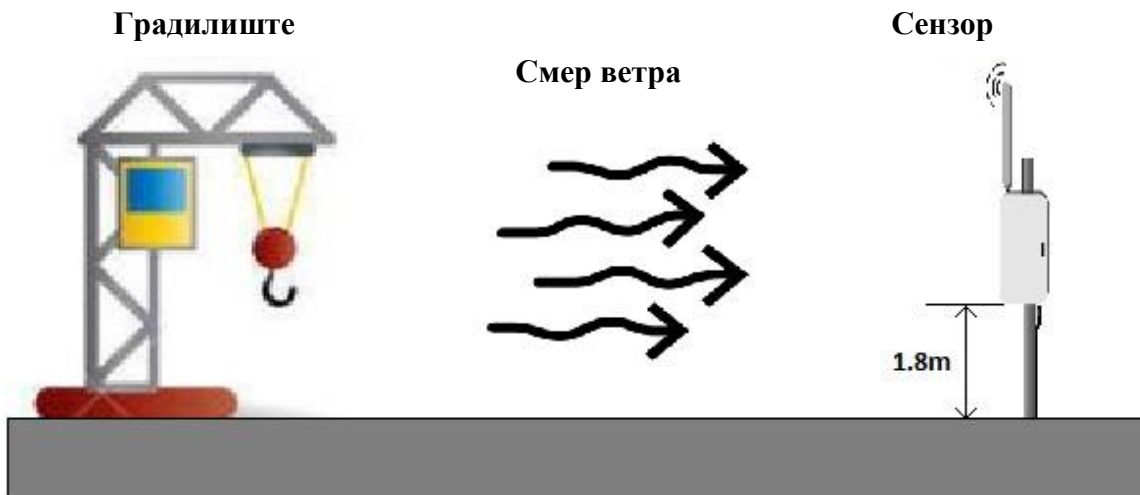
Мере задржавање постојеће вегетације, стабилизационе покривке и геотекстил, озелењавање, малчинг, спирање седиментираних честица са точкава (механички и аутоматски), одржавање и употреба супресаната готово се не примењују (0-10%).

Занемарљива примена вегетационих мера, уочава се кроз недостатак искуства и способности радне снаге. Спирање таложених честица са тачкова може се изводити ручно (употребом грубих алата или воде под притиском) и аутоматски постављањем тактилних елемената и прскаличних система за уклањање талога са гума, и најчешће се поставља у оквиру контролисаног улазног места. На посматраним градилиштима на нивоу града Новог Сада примена мере спирања таложених честица није детектована. Употреба супресаната као финансијски и технички захтевнија мера није примењена. Одржавање је примењено на свега девет посматраних локација и односило се на одржавање компактности путних траса.

## **6.2. Мониторинг концентрационих нивоа ПМ честица на просторима урбане трансформације**

Мониторинг емисије суспендованих честица изведен је на 5 репрезентативних селектованих локација (слика 2.) према моделу приказаном на слици 14. У склопу мониторинга директно *in situ* праћени су концентрациони нивои ПМ10 и ПМ2.5 честица, температура, притисак, влажност ваздуха, падавине, јачина и смер ветра. У лабораторијским условима у акредитованој Лабораторији за мониторинг депонија, отпадних вода и ваздуха Факултета техничких наука, Универзитета у Новом Саду извршена је анализа садржаја процента концентрације финих честица у узорцима тла, узоркованих на селектованим локацијама мониторинга (слика 2.). Резултати мониторинга и узорковања приказани су у табели 5. Подаци приказани у табели 5. су средње дневне вредности узорковања ПМ10 и ПМ2.5 честица, влажности ваздуха, температуре, проценат финих честица, предвиђене вредности према ЕПА методи првог реда, активне површине и емисиони фактори.

Сензори за мониторинг концентрационих нивоа суспендованих честица постављани су на висину од 1.80 m, што одговара просечној висини људи у Србији, у правцу ветра (слика 14.). Услед ограничења сензора и метеоролошких услова (кишних дана), мерења су изведена искључиво током пет сунчаних дана у континуитету при чему влажност ваздуха није прелазила 80%.



Слика 37. принцип мониторинга концентрације суспендованих честица

Увидом у резултате *in situ* мониторинга 5 селектованих локација, приказаних у табели 5., уочљиво је да дневне просечне вредности суспендованих честица (ПМ10 и ПМ2.5) прелазе граничне нивое прописане регулативама Светске здравствене организације и Европске уније индикујући потенцијални хазардни утицај на животно и изграђено окружење. Поређењем моделованих резултата суспендованих честица применом модела предикције првог реда и података мониторинга добијени су корекциони коефицијенти. Израчунате просечне вредности корекционих коефицијената посматраних локација за ПМ10 и ПМ2.5 су 1.03 и 2.56 респектабилно. Анализом корекционих коефицијента закључује се да модел предикције првог реда за ПМ10 честице показује висок ниво подударности и корелације у односу на ПМ2.5 честице. Висок ниво корелације демонстрира и потврђује могућност директне примене предиктивног модела првог реда, без додатних корекционих мера модела. Корелациони подаци за ПМ2.5 честице сугеришу потребу за корекционим коефицијентом у циљу унапређења квалитета и ефикасности модела предикције.



	Дат.	Пов.	Фине чес.	Вла.	EF PM2.5	EF PM10	PM2.5	PM10	Tier I PM2.5	Tier I PM10	C PM2.5	C PM10
Ц 1	16.08			49			66.42	242.90				
	15.08			40			70.78	244.29				
	14.08	1220	35.40	41	0.23	2.3	68.58	227.95	26.92	269.17	2.54	0.91
	3.08			52			61.55	220.94				
	12.08			37			75.02	293.57				
						Сред. вредност	68.47	245.93				
Ц 2	23.08			27			46.96	188.94				
	22.08			44			40.15	161.79				
	21.08	210	19.00	39	0.0086	0.086	42.69	170.81	22.07	220.65	2.06	0.83
	20.08			22			50.32	206.75				
	19.08			28			46.78	189.68				
						Сред. вредност	45.38	183.59				
Ц 3	19.07			44			40.31	162.15				
	18.07			36			42.64	166.86				
	17.07	450	19.67	30	0.03	0.3	52.08	210.44	18.11	181.10	2.74	1.14
	16.07			29			54.78	255.69				
	15.07			25			58.37	239.18				
						Сред. вредност	49.64	206.86				
Ц 4	19.04			58			51.80	215.72				
	18.04			37			60.29	251.71				
	17.04	1050	26.30	48	0.03	0.3	55.67	229.19	24.55	245.47	2.35	0.97
	16.04			36			60.99	252.49				
	15.04			39			59.84	244.43				
						Сред. вредност	57.72	238.71				
Ц 5	5.07			43			56.31	226.57				
	4.07			37			63.95	262.41				
	3.07	840	41.25	44	0.03	0.3	55.72	233.75	19.00	190.01	3.12	1.28
	2.07			46			54.45	221.58				
	1.07			36			65.70	274.01				
						Сред. вредност	59.23	243.66				

Табела 5. Резултати мониторинга емисије суспендованих честица

### 6.2.1. Анализа повезаности - корелациони односи праћених параметара

Циљ истраживања и анализе корелационих односа праћених параметара да се утврди постојање правилности и односа између варијабли које се нису десиле потпуно случајно или насумично, најбоље се изводи одређивањем односа – нивоа веза између посматраних променљивих варијабли које се испитују применом корелационе анализе (Fields, 2017). Корелационе вредности су у опсегу +1 до -1, а нулта вредност указује на то да не постоји веза између посматраних варијабли. Посматране корелације се деле према смеру – позитивна или негативна, броју посматраних променљивих – проста или вишеструка и облику веза – линеарна и нелинеарна. Између две променљиве корелација је проста, а позитивна ако једна варијабла расте или опада а друга варијабла прати кретање. Код негативне корелације, варијабле реагују супротно кретању друге, што значи да ако једна варијабла расте другој варијабли вредност опада, и *vice versa*. Да би се утврдило постојање корелационих односа, а затим и њихов облик, користи се дијаграм дисперзије - расипања (енг. *scatter plot*). Мере повезаности између варијабли представљају начин сумирања јачине везе између две или више варијабли. За две варијабле се каже да су повезане када познавање информација о једној варијабли може помоћи у предвиђању вредности друге. Осим јачине, неке мере повезаности могу открити и смер везе између варијабли. Мере повезаности могу бити линеарне и нелинеарне. Линеарна повезаност означава врсту повезаности између варијабли код које се вредност једне варијабле исказује путем друге варијабле, коефицијента који стоји уз њу у односу мултипликације и константе која се додаје на овај производ. Математички се линеарна повезаност приказује на следећи начин:

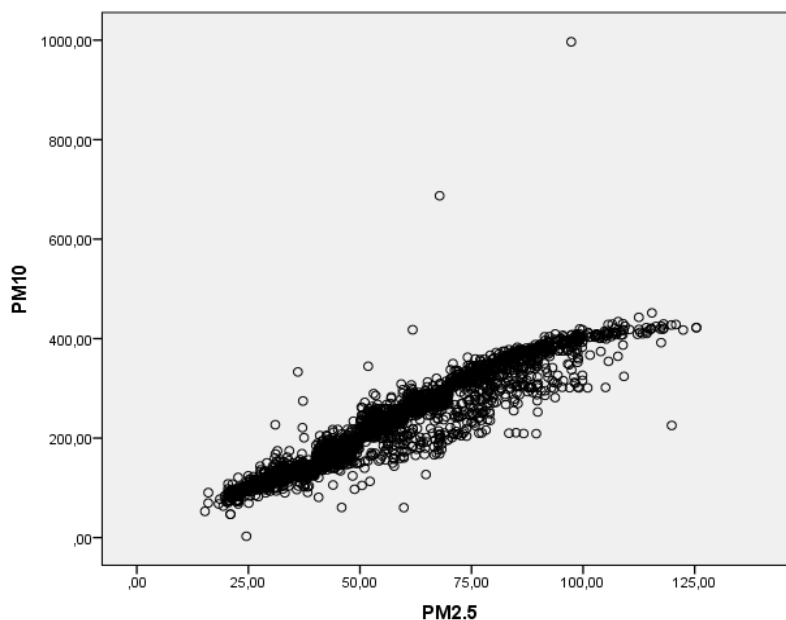
$$Y = a + b \cdot X$$

где су  $X$  и  $Y$  варијабле чија се повезаност посматра,  $a$  је константа,  $b$  је коефицијент  $X$ . Нелинеарна зависност означава такву повезаност варијабли код које се веза између варијабли не може редуковати на линеарну везу, а графички се представља као крива.

Интензитет повезаности сугерише пропорцију у којој промена једне варијабле изазива промену друге варијабле. Правило је да потпуна повезаност постоји када промена једне варијабле изазива промену друге варијабле у истој мери, док потпуна неповезаност постоји када промена вредности једне варијабле уопште не утиче на вредност друге варијабле. Овакви екстреми су у пракси веома ретки. Потпуна повезаност је могућа једино

ако две варијабле потичу из исте маргиналне дистрибуције. Корелациона повезаност се јавља између два екстрема и дефинише се као слаба, средња, јака и веома јака релација између варијабли. Овакве категоризације су у великој мери произвољне и служе за лакше тумачење односа који постоје између варијабли. Однос између две варијабле може бити пропорционалан или обрнуто пропорционалан, што се у пракси посматра као позитивна или негативна корелација, респективно. Позитивна повезаност између две варијабле постоји када пораст вредности једне варијабле у просеку доводи до веће вредности друге варијабле. Обрнуто је код негативне повезаности - пораст вредности једне варијабле у просеку проузрокује мање вредности друге варијабле. Ова карактеристика повезаности се назива смер повезаности. Могуће је да повезаност између две варијабле постоји у читавом домену у којем су варијабле дефинисане. У супротном, ако повезаност постоји само у делу домена у којем су варијабле дефинисане, ради се о испрекиданој асоцијацији (Fields, 2017).

У оквиру активности докторске дисертације примењен је математички софтвер ИБМ СПСС за израчунавање корелационих односа детектованих концентрационих нивоа суспендованих честица (ПМ10 и ПМ2.5), температуре и влажности. У циљу практичне и ефикасне анализе изведена је биваријантна корелација – између две променљиве, позната као корелација нултог типа.



Слика 38. Дијаграм расипања – дисперзије.

Пирсонова корелација је најефикаснија корелациона метода нултог реда. Апсолутна вредност добијеног коефицијента корелације показује јачину везе. Када постоје јаке везе између две варијабле вредност коефицијента ближа је броју један, што се представља правом линијом на дијаграму расипања (приказан на слици 33.). Близина корелационог коефицијента нули показује мањак/ недостатак повезаности две варијабле. Резултати корелационих односа на дневном нивоу за сваку локацију дати су у прилозима и корелирају резултатима на нивоу укупних испитивања на локацији, који су приказани у наредним поглављима.

### 6.2.1.а. Локација Ц1

Резултати испитивања (табела 6.) корелационих односа параметара локације Ц1 приказују да је температура у слабој позитивној корелацији са ПМ2.5 и ПМ10 честицама и износи 0.236 и 0.175 респектабилно, док корелација са влажношћу ваздуха скоро да и не постоји. Влажност ваздуха је у слабој негативној корелацији са суспендованим честицама. Док је однос између ПМ10 и ПМ2.5 честица позитиван и веома јак (Пирсонов коефицијент 0,902).

		Temperatura	Vlaznost_vazduha	PM2.5	PM10
Temperatura	Pearson Correlation	1	-,083	,236**	,175**
	Sig. (2-tailed)		,053	,000	,000
	N	545	545	545	545
Vlaznost_vazduha	Pearson Correlation	-,083	1	-,238**	-,217**
	Sig. (2-tailed)	,053		,000	,000
	N	545	545	545	545
PM2.5	Pearson Correlation	,236**	-,238**	1	,902**
	Sig. (2-tailed)	,000	,000		,000
	N	545	545	545	545
PM10	Pearson Correlation	,175**	-,217**	,902**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	
	N	545	545	545	545

Табела 6. Корелациони односи селектованих параметара на локацији Ц1.

### 6.2.1.б. Локација Ц2

Корелациони односи на локацији Ц2 (табела 7.) приказују да је температура у слабој позитивној корелацији са ПМ2.5 и ПМ10 честицама и износи 0.203 и 0.184 респектабилно, док је корелација са влажношћу ваздуха слаба и негативна (-0,283). Влажност ваздуха је у слабој негативној скоро подударној корелацији са суспендованим

честицама (PM2.5 -0,226 и PM10 -0,216). Корелација између PM10 и PM2.5 честица има изузетно висок Пирсонов коефицијент 0,977.

		Temperatura	Vlaznost_vazduha	PM2.5	PM10
Temperatura	Pearson Correlation	1	-,283**	,203**	,184**
	Sig. (2-tailed)		,000	,000	,000
	N	545	545	545	545
Vlaznost_vazduha	Pearson Correlation	-,283**	1	-,226**	-,216**
	Sig. (2-tailed)	,000		,000	,000
	N	545	545	545	545
PM2.5	Pearson Correlation	,203**	-,226**	1	,977**
	Sig. (2-tailed)	,000	,000		,000
	N	545	545	545	545
PM10	Pearson Correlation	,184**	-,216**	,977**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	
	N	545	545	545	545

Табела 7. Корелациони односи селектованих параметара на локацији Ц2.

#### 6.2.1.в. Локација Ц3

На локације Ц3 (табела 8.) температура је у слабој негативној корелацији са PM2.5 и PM10 честицама и износи -0.119 и -0.113 респектабилно, док је корелација са влажношћу ваздуха средња и позитивна и износи 0,463. Влажност ваздуха је у средњој негативној корелацији са суспендованим честицама (PM2.5 -0,401 и PM10 -0,362). Однос између PM10 и PM2.5 честица има изузетно висок позитиван коефицијент корелације (0,954).

		Temperatura	Vlaznost_vazduha	PM2.5	PM10
Temperatura	Pearson Correlation	1	,463**	-,119**	-,113**
	Sig. (2-tailed)		,000	,005	,008
	N	545	545	545	545
Vlaznost_vazduha	Pearson Correlation	,463**	1	-,401**	-,362**
	Sig. (2-tailed)	,000		,000	,000
	N	545	545	545	545
PM2.5	Pearson Correlation	-,119**	-,401**	1	,954**
	Sig. (2-tailed)	,005	,000		,000
	N	545	545	545	545
PM10	Pearson Correlation	-,113**	-,362**	,954**	1
	Sig. (2-tailed)	,008	,000	,000	
	N	545	545	545	545

Табела 8. Корелациони односи селектованих параметара на локацији Ц3.

#### 6.2.1.г. Локација Ц4

Корелациони односи (табела 9.) температуре на локацији Ц4 су у средњој позитивној корелацији са влажношћу ваздуха (0,349) и слабој позитивној корелацији са

суспендованим честицама (PM2.5 0,222 и PM10 0,246). Влажност ваздуха је у слабој негативној корелацији са PM2.5 и PM10 честицама и износи -0,264 и -0,235 респектабилно. Фракције суспендованих честице имају изузетно висок позитиван коефицијент корелације (0,975).

		Temperatura	Vlaznost_vazduha	PM2.5	PM10
Temperatura	Pearson Correlation	1	,349**	,222**	,246**
	Sig. (2-tailed)		,000	,000	,000
	N	545	545	545	545
Vlaznost_vazduha	Pearson Correlation	,349**	1	-,264**	-,235**
	Sig. (2-tailed)	,000		,000	,000
	N	545	545	545	545
PM2.5	Pearson Correlation	,222**	-,264**	1	,975**
	Sig. (2-tailed)	,000	,000		,000
	N	545	545	545	545
PM10	Pearson Correlation	,246**	-,235**	,975**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	
	N	545	545	545	545

Табела 9. Корелациони односи селектованих параметара на локацији Ц4.

#### 6.2.1.д. Локација Ц5

Корелациони односи на локације Ц5 (табела 10.) приказују параметар температуре у слабој позитивној корелацији са PM2.5 и PM10 честицама и износи 0,243 и 0,255 респектабилно, док је корелација са влажношћу ваздуха средња и негативна (-0,561).

		Temperatura	Vlaznost_vazduha	PM2.5	PM10
Temperatura	Pearson Correlation	1	-,561**	,243**	,255**
	Sig. (2-tailed)		,000	,000	,000
	N	545	545	545	545
Vlaznost_vazduha	Pearson Correlation	-,561**	1	-,231**	-,243**
	Sig. (2-tailed)	,000		,000	,000
	N	545	545	545	545
PM2.5	Pearson Correlation	,243**	-,231**	1	,966**
	Sig. (2-tailed)	,000	,000		,000
	N	545	545	545	545
PM10	Pearson Correlation	,255**	-,243**	,966**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	
	N	545	545	545	545

Табела 10. Корелациони односи селектованих параметара на локацији Ц5.

Влажност ваздуха је у слабој негативној корелацији са суспендованим честицама (PM2.5 -0,231 и PM10 -0,243). Однос између PM10 и PM2.5 честица је изузетно јак и позитиван са коефицијент корелације 0,966.

## 6.2.1.ђ. Анализа корелације целокупног сета података

Корелациони односи на селектованим локацијама испољавају различите јачине односа. У табели 11. приказани су корелациони односи параметара добијених мониторингом на селектованим локацијама урбаних трансформација у Новом Саду.

		Temperatura	Vlaznost_vazduha	PM2.5	PM10
Temperatura	Pearson Correlation	1	-,200**	,059**	-,003
	Sig. (2-tailed)		,000	,002	,865
	N	2725	2725	2725	2725
Vlaznost_vazduha	Pearson Correlation	-,200**	1	-,002	-,038*
	Sig. (2-tailed)	,000		,923	,049
	N	2725	2725	2725	2725
PM2.5	Pearson Correlation	,059**	-,002	1	,941**
	Sig. (2-tailed)	,002	,923		,000
	N	2725	2725	2725	2725
PM10	Pearson Correlation	-,003	-,038*	,941**	1
	Sig. (2-tailed)	,865	,049	,000	
	N	2725	2725	2725	2725

Табела 11. Корелациони односи селектованих параметара.

Појединачни параметри температуре на селектованим локацијама у односу са суспендованим честицама исказују низак коефицијент корелације који је и у позитивним и у негативним корелацијама (локација Ц3). Софтверском обрадом свих локација добија се да је корелациони коефицијент са суспендованим честицама веома низак. Анализом добијених корелационих односа, може да се закључи да када се на нивоу града сагледа целокупна емисија суспендованих честица током архитектонских активности температура нема кључни значај, док када се посматрају појединачни случајеви има минимални утицај на емисију. Корелациони однос температуре и влажности ваздуха варира од непостојећег (локација Ц1), до ниског и средњег и има позитивну и негативну конотацију. Сумирајући целокупни однос релација, влажност ваздуха је у слабој негативној корелацији са температуром. Суспендоване честице и влажност ваздуха на посматраним локацијама имају константно негативну и ниску корелацију сем на локацији Ц3 где је однос средњег нивоа. Софтверска анализа свих локација очекивано приказује веома низак ниво негативне корелације, што сугерише закључак да влажност ваздуха утиче на појединачне просторе урбане трансформације, док целокупно посматрано нема велики утицај. Растом влажности у ваздуху, концентрациони нивои суспендованих честица требало би да губе на вредности.

PM10 и PM2.5 честице на свим локацијама приказују високу позитивну корелацију. Висок ниво корелације потиче из чињенице да је фракција PM2.5 честица увек садржана у фракцији PM10 честица.

### 6.2.2. Квалитет ваздуха у окружењу

Резултати добијени истраживачким мониторингом (табела 5.) архитектонских активности на селектованим просторима урбаних трансформација за сваку локацију на дневном нивоу прелазе граничне вредности. За оцену квалитета ваздуха у свету је признат и користи се индекс квалитета ваздуха – AQI (енг. *Air Quality Index*). Индекс може да има вредности од 0 до 500, при чему са растом вредност AQI расте и ниво контаминације амбијенталног ваздуха. Вредностима индекса одговара шест категорија квалитета ваздуха:

- 0-50 – добро – квалитет ваздуха је задовољавајући и постоји минимални или никакав здравствени ризик
- 51-100 – умерен – квалитет ваздуха је прихватљив и постоји здравствени ризик за одређене групе људи изузетно сензитивне на ваздушно загађење
- 101-150 – штетан – осетљиве групе могу осетити здравствене тегобе
- 151-200 – нездраво – делови популације могу осетити здравствене тегобе а сензитивне групе могу имати озбиљније здравствене проблеме
- 201-300 – веома нездраво – висок здравствени ризик за све
- 300+ – хазардно – здравствено упозорење за ванредне услове, могући озбиљни здравствени проблеми за све

Анализом добијених резултата мониторинга и калкулацијом индекса квалитета приказаног у табели 12. за све локације на дневном нивоу, пројектује се да индекс квалитета ваздуха расте са површином на којој се изводе урбане трансформације. Анализом свих вредности на селектованим локацијама, уочава се да су посебно изложене честичном загађењу урбанитети са ознакама Ц1, Ц4 и Ц5, где је очигледно повишен индекс за PM2.5 честице, док је индекс за PM10 честице благо испод те границе.



Локација/ дан	Ц1		Ц2		Ц3		Ц4		Ц5	
	PM2.5	PM10	PM2.5	PM10	PM2.5	PM10	PM2.5	PM10	PM2.5	PM10
Петак	156	144	129	117	111	104	141	131	150	136
Четвртак	158	145	111	104	116	106	152	149	154	154
Среда	157	136	116	108	141	128	150	137	150	139
Уторак	153	133	136	126	146	151	153	149	146	133
Понедељак	160	169	126	118	151	142	152	145	156	160
Средња вредност	157	145	124	115	133	126	150	142	151	144

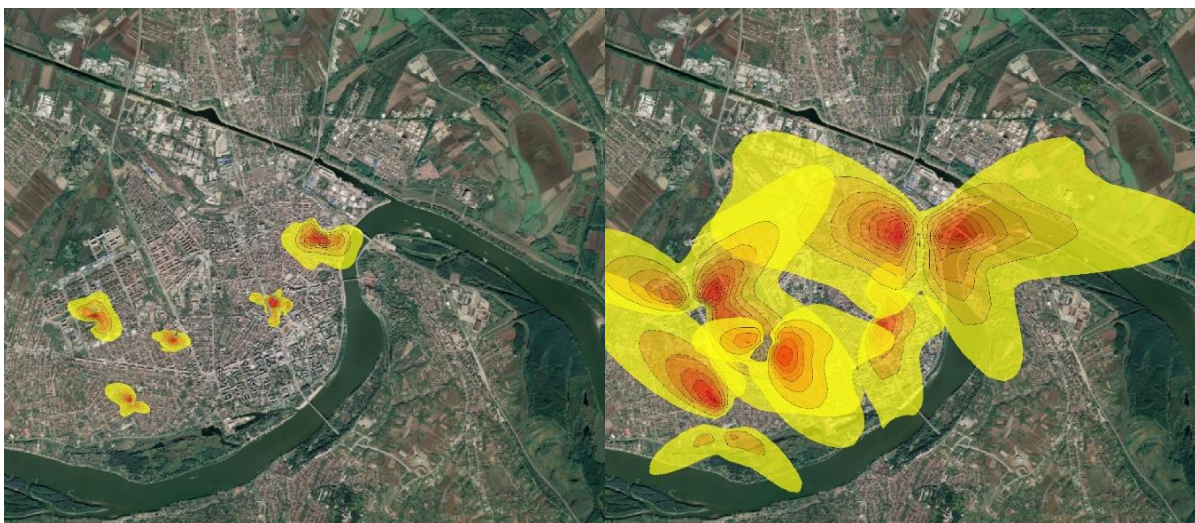
Табела 12. Вредности индекса квалитета ваздуха на дневном нивоу према резултатима мониторинга (жута боја – штетан, црвена боја – нездрав).

На локацијама Ц1, Ц4 и Ц5 индекс квалитета ваздуха за измерене концентрационе вредности ПМ2.5 честица достиже високе нивое који се у AQI номенклатури сматрају као нездрав. Док се индекс везан за ПМ10 честице код већег броја дана налазиу четвртој категорији загађења. Штетни нивои могу утицати на респираторне и кардио-васкуларне болести, где су највише погођене вурнерабилне групе (деца, старији и болесни). Током дана са повећаним индексом квалитета ваздуха, увећан је ризик здравствених проблема, а дужом експозицијом контаминираном амбијенталном ваздуху долази до хроничних респираторних проблема.

### 6.2.3. Предикција распрострањања нивоа суспендованих честица

Задатак квалитетне пројектне припреме и ефикасне примене превентивних и митигационих мера захтева предвиђање потенцијалних критичних тачака и кретања нивоа концентрационих вредности суспендованих честица током свих архитектонских активности при урбаним трансформацијама. У оквиру докторске дисертације примењена су два модела предикције. Модел предикције првог реда (резултати приказани у табели 5.) примењен је са циљем добијања концентрационих вредности, док је за моделовање распрострањања – кретања суспендованих честица употребљен софтвер *ADMS – Urban* развијен од стране Церка (енг. *CERC - Cambridge Environmental Research Consultants*). *ADMS – Urban* је свеобухватан систем за моделовање загађења амбијенталног ваздуха у великим урбаним зонама и као такав идеалан за предикцију распрострањања суспендованих честица током архитектонских активности урбаних трансформација. Висок стандард

квалитета модела осигуран је имплементацијом и анализом бројних података комплексне морфологије урбане локације. У анализи локација доктората примењени су подаци добијени истраживачким мониторингом изабраних локација (приказане у табели 5.): концентрациони нивои ПМ10 и ПМ2.5, влажност ваздуха, температура, притисак, падавине, проценат финих честица, обухваћена површина, емисиони фактори, јачина и смер ветра, морфологија терена и положај објеката у окружењу. Применом софтвера *ADMS – Urban* добијени су модели распрострањавања суспендованих честица на висинама од 10 и 100 метара. Дисперзија суспендованих честица локације Ц4 приказана на урбаној матрици града Новог Сада (слика 16.) депиктује реалан опсег кретања честица на висинама од 10 и 100 метара.



Слика 39. Приказ дисперзије ПМ честица на праћеним локацијама града Новог Сада: а) на 10м, б) на 100м.

Посматрањем и преклапањем квалитетних дисперзионих модела, развијених софтвером *ADMS – Urban* опсервира се реални потенцијал загађења амбијенталног ваздуха суспендованим честицама. Модели дисперзије суспендованих честица посматраних локација у експерименталном делу докторске дисертације приказују да је само једна урбана трансформација потребна да би се честичним загађењем обухватила велика површина урбане структуре града. На примеру урбане морфологије града Новог Сада *de facto* се приказује да је минимални број активних урбаних трансформација потребан да се један град величине Новог Сада прекрије велом суспендованих честица (слика 40.).

## 7. ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА

Град Нови Сад је регионални центар, чији убрзани развој има велики утицај на трансформације урбане структуре. Урбане трансформације функционишу као индикатори прогреса градова, који иницирају хазардну промену динамике еквилибријума природе и изграђене средине. Истраживања су показала да су простори урбаних трансформација одговорни за око 20% укупне емисије суспендованих честица у окружењу. Развијене земље су проблем емисије ПМ честица током архитектонских активности решиле кроз законске регулативе и техничка документа, док је у случају земаља у развоју емисија суспендованих честица при урбаним трансформацијама још увек иницијалној фази.

Резултати истраживања примене метода и модела митигације суспендованих честица у оквиру докторске дисертације показали су да контрола емисије суспендованих честица није део разматрања и припреме пројектне документације. Знаци планских модела руковања и мониторинга емисије ПМ честица нису детектовани на посматраним локацијама у експерименталној фази истраживања доктората. Недостаци имплицирају потребу за унапређењем система планирања, управљања и целокупног менаџмента током урбаних трансформација. У истраживању су испитиване предложене митигационе мере за примену на нивоу Републике Србије: зелене пуфер зоне, селективна механизација, очување и унапређење постојеће вегетације, стабилизационе покривке и геотекстил, малчинг, правилно руковање материјалом током транспорта и складиштења, машинска уградња прашкастих материјала, заштитне завесе, ветробрани (ограде), контролисано улазно место, спирање таложених честица са точкава (механички и аутоматски), поплочање путева, дефинисање путева кретања, ограничење брзине, квашење путева транспорта, распрскавање воде и употреба супресаната. Уочљиво је да су једино потпуно примењене митигационе мере оне које су законски регулисане, док су остале мере у већем броју занемарене или се слабо примењују. Поред законски регулисаних мера према нивоу примене издвојиле су се и мере поплочања путева и механичка уградња прашкастих материјала. Поплочање путева омогућава побољшану комуникацију и олакшано кретање, док машинска уградња смањује расипање материјала и пружа временски ефикаснији и квалитетнији производ. Заједничка карактеристика ове две мере је високи потенцијал утицаја на ефикасност извођења архитектонских активности. Ниво примене осталих мера

сматра се само добром праксом извођачких компанија и део је искуства руководећих инжењера. Урбане трансформације намећу два кључна митигациона фактора у примени модела смањења контаминације амбијенталног ваздуха суспендованим честицама: ефикасност управљања при архитектонским активностима и регулисаност кроз правне и законске регулативе. У циљу минимизирања генерисања и емисије суспендованих честица императивна је примена превентивних и митигационих мера током архитектонских активности при процесима урбане трансформације. Неопходна је законска рекогнозиција емисије и генерисања суспендованих честица у законске токове. Поред едукације, неопходно је истраживачки мониторинг трансформисати у перманентни, обавезни законски мониторинг ПМ честица.

Експериментални део доктората обухватио је свеобухватну анализу репрезентативних локација урбане матрице града Новог Сада кроз податке добијене истраживачким мониторингом: концентрациони нивои ПМ<sub>10</sub> и ПМ<sub>2.5</sub>, влажност ваздуха, температура, притисак, падавине, проценат финих честица у тлу, обухваћена површина, емисиони фактори, јачина и смер ветра, морфологија терена и положај објеката у окружењу. Моделовањем добијених података депиктован је ниво контаминације и дисперзије суспендованих честица индикујући да је потребан мали број контаминираних урбаних трансформација да град величине Новог Сада буде захваћен облаком суспендованих честица. Концепт примењен у истраживачком мониторингу са применом модерних софтверских решења по први пут је тестиран на нивоу града Новог Сада уз могућност примене на другим просторима урбаних трансформација.

У склопу докторске дисертације формиран је јединствен коефицијент применљивости методе који у обзир узима круцијалне елементе ефикасности примењених модела и метода. Моделовани коефицијент применљивости има високу квантитативну вредност као будући детерминант избора ефикасних решења проблема емисије суспендованих честица на појединачним градилиштима у Републици Србији.

Основне хипотезе докторске дисертације су реализоване имајући у виду да је препознатљивост области инжењерства заштите животне средине у модерној и савременој

архитектури императив. Урбани простори и подручја, грађевине, градови, животно окружење, природа и простор чине део комплексног и апстрактног логички повезаног система, који утиче на начин живота и организује друштва као целине. Софистицирана и савремена функција архитектуре је да креира хармонију човека и природе, кроз симбиотски однос изграђене са животном средином. Примена начела одрживости и енергетске ефикасности као градивних елемената динамичког еквилибријума у савременој архитектури инкорпорира принципе инжењерства заштите животне средине, успостављајући могућност симбиотског суживота изграђене средине и животног окружења кроз заједничку компензацију и амортизацију утицаја.

## 8. ЛИТЕРАТУРА

1. Agencija za zaštitu životne sredine, 2021. Kvalitet vazduha u Republici Srbiji 2020. godine. Beograd.
2. Ahmed, S., Arocho, I., 2019. Emission of particulate matters during construction: A comparative study on a Cross Laminated Timber (CLT) and a steel building construction project. *J. Build. Eng.* 22, 281–294. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.12.015>
3. Alphasense, 2015. OPC-N2 User Manual 44, 1–15.
4. Alvarado, M., Gonzalez, F., Erskine, P., Cliff, D., Heuff, D., 2017. A methodology to monitor airborne PM10 dust particles using a small unmanned aerial vehicle. *Sensors (Switzerland)* 17. <https://doi.org/10.3390/s17020343>
5. Amegah, A.K., 2018. Proliferation of low-cost sensors. What prospects for air pollution epidemiologic research in Sub-Saharan Africa? *Environ. Pollut.* 241, 1132–1137. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.06.044>
6. Analitis, A., De' Donato, F., Scortichini, M., Lanki, T., Basagana, X., Ballester, F., Astrom, C., Paldy, A., Pascal, M., Gasparri, A., Michelozzi, P., Katsouyanni, K., 2018. Synergistic effects of ambient temperature and air pollution on health in europe: Results from the PHASE project. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 15. <https://doi.org/10.3390/ijerph15091856>
7. Andrews, S.Q., 2008. Inconsistencies in air quality metrics: 'Blue Sky' days and PM 10 concentrations in Beijing. *Environ. Res. Lett.* 3, 034009. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/3/3/034009>

8. Azarmi, F., Kumar, P., 2016. Ambient exposure to coarse and fine particle emissions from building demolition. *Atmos. Environ.* 137, 62–79. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.04.029>
9. Azarmi, F., Kumar, P., Marsh, D., Fuller, G., 2016. Assessment of the long-term impacts of PM10 and PM2.5 particles from construction works on surrounding areas. *Environ. Sci. Process. Impacts* 18, 208–221. <https://doi.org/10.1039/c5em00549c>
10. Azarmi, F., Kumar, P., Mulheron, M., 2014. The exposure to coarse, fine and ultrafine particle emissions from concrete mixing, drilling and cutting activities. *J. Hazard. Mater.* 279, 268–279. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.07.003>
11. Bandow, N., Gartiser, S., Ilvonen, O., Schoknecht, U., 2018. Evaluation of the impact of construction products on the environment by leaching of possibly hazardous substances. *Environ. Sci. Eur.* 30, 14. <https://doi.org/10.1186/s12302-018-0144-2>
12. Beelen, R., Raaschou-Nielsen, O., Stafoggia, M., Andersen, Z.J., Weinmayr, G., Hoffmann, B., Wolf, K., Samoli, E., Fischer, P., Nieuwenhuijsen, M., Vineis, P., Xun, W.W., Katsouyanni, K., Dimakopoulou, K., Oudin, A., Forsberg, B., Modig, L., Havulinna, A.S., Lanki, T., Turunen, A., Oftedal, B., Nystad, W., Nafstad, P., De Faire, U., Pedersen, N.L., Östenson, C.G., Fratiglioni, L., Penell, J., Korek, M., Pershagen, G., Eriksen, K.T., Overvad, K., Ellermann, T., Eeftens, M., Peeters, P.H., Meliefste, K., Wang, M., Bueno-De-Mesquita, B., Sugiri, D., Krämer, U., Heinrich, J., De Hoogh, K., Key, T., Peters, A., Hampel, R., Concin, H., Nagel, G., Ineichen, A., Schaffner, E., Probst-Hensch, N., Künzli, N., Schindler, C., Schikowski, T., Adam, M., Phuleria, H., Vilier, A., Clavel-Chapelon, F., Declercq, C., Grioni, S., Krogh, V., Tsai, M.Y., Ricceri, F., Sacerdote, C., Galassi, C., Migliore, E., Ranzi, A., Cesaroni, G., Badaloni, C., Forastiere, F., Tamayo, I., Amiano, P., Dorronsoro, M., Katsoulis, M.,

- Trichopoulou, A., Brunekreef, B., Hoek, G., 2014. Effects of long-term exposure to air pollution on natural-cause mortality: An analysis of 22 European cohorts within the multicentre ESCAPE project. *Lancet* 383, 785–795.  
[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(13\)62158-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)62158-3)
13. Bezantakos, S., Schmidt-Ott, F., Biskos, G., 2018. Performance evaluation of the cost-effective and lightweight Alphasense optical particle counter for use onboard unmanned aerial vehicles. *Aerosol Sci. Technol.* 52, 385–392.  
<https://doi.org/10.1080/02786826.2017.1412394>
14. Bibby, R.L., Webster-Brown, J.G., 2006. Trace metal adsorption onto urban stream suspended particulate matter (Auckland region, New Zealand). *Appl. Geochemistry* 21, 1135–1151. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2006.03.014>
15. BRE, 2003. *This Pollution Control Guide*. BRE, London.
16. Brimblecombe, P., Camuffo, D., 2003. LONG TERM DAMAGE TO THE BUILT ENVIRONMENT. pp. 1–30.  
[https://doi.org/10.1142/9781848161283\\_0001](https://doi.org/10.1142/9781848161283_0001)
17. Brochu, P.J., Yanosky, J.D., Paciorek, C.J., Schwartz, J., Chen, J.T., Herrick, R.F., Suh, H.H., 2011. Particulate Air Pollution and Socioeconomic Position in Rural and Urban Areas of the Northeastern United States. *Am. J. Public Health* 101, S224–S230. <https://doi.org/10.2105/AJPH.2011.300232>
18. Brook, R.D., Rajagopalan, S., Pope, C.A., Brook, J.R., Bhatnagar, A., Diez-Roux, A. V., Holguin, F., Hong, Y., Luepker, R. V., Mittleman, M.A., Peters, A., Siscovick, D., Smith, S.C., Whitsel, L., Kaufman, J.D., 2010. Particulate Matter Air Pollution and Cardiovascular Disease. *Circulation* 121, 2331–2378.  
<https://doi.org/10.1161/CIR.0b013e3181d8bec1>



19. Butlin, R.N., 1990. Effects of air pollutants on buildings and materials. *Proc. R. Soc. Edinburgh. Sect. B. Biol. Sci.* 97, 255–272.  
<https://doi.org/10.1017/S0269727000005376>
20. Chan, C.K., Yao, X., 2008. Air pollution in mega cities in China. *Atmos. Environ.* 42, 1–42. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.09.003>
21. Chandrappa, R., Chandra Kulshrestha, U., 2016. Major Issues of Air Pollution. pp. 1–48. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-21596-9\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-21596-9_1)
22. Chang, T.-J., Hu, T.-S., 2008. Transport mechanisms of airborne particulate matters in partitioned indoor environment. *Build. Environ.* 43, 886–895.  
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2007.01.030>
23. Chaudhary, I.J., Rathore, D., 2018. Suspended particulate matter deposition and its impact on urban trees. *Atmos. Pollut. Res.* 9, 1072–1082.  
<https://doi.org/10.1016/j.apr.2018.04.006>
24. Cheminfo Services Inc., 2005. Best Practices for the Reduction of Air Emissions From Construction and Demolition Activities. Environment Canada.
25. Chen, Z., Wang, J.-N., Ma, G.-X., Zhang, Y.-S., 2013. China tackles the health effects of air pollution. *Lancet* 382, 1959–1960.  
[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(13\)62064-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)62064-4)
26. Cho, H.S., Choi, M.J., 2014. Effects of compact Urban development on air pollution: Empirical evidence from Korea. *Sustain.* 6, 5968–5982.  
<https://doi.org/10.3390/su6095968>
27. Cohen, A.J., Brauer, M., Burnett, R., Anderson, H.R., Frostad, J., Estep, K., Balakrishnan, K., Brunekreef, B., Dandona, L., Dandona, R., Feigin, V., Freedman, G., Hubbell, B., Jobling, A., Kan, H., Knibbs, L., Liu, Y., Martin, R.,

- Morawska, L., Pope, C.A., Shin, H., Straif, K., Shaddick, G., Thomas, M., van Dingenen, R., van Donkelaar, A., Vos, T., Murray, C.J.L., Forouzanfar, M.H., 2017. Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. *Lancet* 389, 1907–1918. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)30505-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)30505-6)
28. Connan, O., Pellerin, G., Maro, D., Damay, P., Hébert, D., Roupsard, P., Rozet, M., Laguionie, P., 2018. Dry deposition velocities of particles on grass: Field experimental data and comparison with models. *J. Aerosol Sci.* 126, 58–67. <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2018.08.004>
29. CPCB, 2017. Guidelines on DUST mitigation measures in handling Construction material & C&D wastes, Control of. ed. (Ministry of Environment, Forest & Climate Change, Govt. of India, Delhi. <https://doi.org/10.32964/tj16.11>
30. Crilley, L.R., Shaw, M., Pound, R., Kramer, L.J., Price, R., Young, S., Lewis, A.C., Pope, F.D., 2018. Evaluation of a low-cost optical particle counter (Alphasense OPC-N2) for ambient air monitoring. *Atmos. Meas. Tech.* 11, 709–720. <https://doi.org/10.5194/amt-11-709-2018>
31. Czernicki, P., Kallmert, M., 2019. Evaluation of a heated inlet to reduce humidity induced error in low-cost particulate matter sensors.
32. de Moraes, R.J.B., Costa, D.B., Araújo, I.P.S., 2016. Particulate Matter Concentration from Construction Sites: Concrete and Masonry Works. *J. Environ. Eng.* 142. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0001136](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0001136)
33. Di Antonio, A., Popoola, O.A.M., Ouyang, B., Saffell, J., Jones, R.L., 2018. Developing a relative humidity correction for low-cost sensors measuring ambient

- particulate matter. *Sensors (Switzerland)* 18. <https://doi.org/10.3390/s18092790>
34. Dröge, R., Kuenen, J.J.P., Pulles, M.P.J., Heslinga, D.C., 2010. The revised EMEP/EEA Guidebook compared to the country specific inventory system in the Netherlands. *Atmos. Environ.* 44, 3503–3510.  
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.06.020>
  35. EEA, 2021. Air quality in Europe 2021. European Environment Agency.
  36. EEA, 2019. 2.A.5.b Construction and demolition, in: EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook.
  37. El Morabet, R., 2019. Effects of Outdoor Air Pollution on Human Health, in: *Encyclopedia of Environmental Health*. Elsevier, pp. 278–286.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11509-X>
  38. Environment Protection Authority, 1996. Environmental Guidelines for Major Construction Sites Environmental Guidelines for Major Construction Sites 44.
  39. Environmental Protection Agency (EPA), 2011. Particulate Matter Emissions 1–9.
  40. EPAV, 1996. Environmental Guidelines for Major Construction Sites. Environmental Protection Authority Victoria, Melbourne.
  41. ES, 1993. BS EN 481:1993 Workplace atmospheres. Size fraction definitions for measurement of airborne particles.
  42. EU, 2008. DIRECTIVE 2008/50/EC On ambient air quality and cleaner air for Europe. *Off. J. Eur. Union*.

43. Fan, Z., Lin, L., 2011. Exposure Science: Contaminant Mixtures, in: Encyclopedia of Environmental Health. Elsevier, pp. 645–656. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52272-6.00122-7>
44. Fang, M., Chan, C.K., Yao, X., 2009. Managing air quality in a rapidly developing nation: China. *Atmos. Environ.* 43, 79–86. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.09.064>
45. Feinberg, S., Williams, R., Hagler, G.S.W., Rickard, J., Brown, R., Garver, D., Harshfield, G., Stauffer, P., Mattson, E., Judge, R., Garvey, S., 2018. Long-term evaluation of air sensor technology under ambient conditions in Denver, Colorado. *Atmos. Meas. Tech.* 11, 4605–4615. <https://doi.org/10.5194/amt-11-4605-2018>
46. Feinberg, S.N., Williams, R., Hagler, G., Low, J., Smith, L., Brown, R., Garver, D., Davis, M., Morton, M., Schaefer, J., Campbell, J., 2019. Examining spatiotemporal variability of urban particulate matter and application of high-time resolution data from a network of low-cost air pollution sensors. *Atmos. Environ.* 213, 579–584. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.06.026>
47. Fields, A., 2017. *Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics*, Fifth edit. ed. SAGE Publishing, University of Sussex, UK.
48. Florig, H.K., Sun, G., Song, G., 2002. Evolution of particulate regulation in China—prospects and challenges of exposure-based control. *Chemosphere* 49, 1163–1174. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(02\)00246-1](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(02)00246-1)
49. FOEN, 2013. PM10 and PM2.5 ambient concentrations in Switzerland. Federal Office for the Environment.

50. Frank Lloyd Wright, 1938. . Archit. Forum 68.
51. Ghanizadeh, G., Khoshniyat, R., Karmi, F., Haghshenas, M. reza, Abdollahi, M., Rahimi, M., Hamidi, E., 2018. Short-term Effects of PM10 to Increase Rate of Hospital Admission Cardiovascular and Respiratory of Sanandaj, Iran During 2015. Iran. J. Heal. Saf. Environ. 5, 957–965.
52. GLA, 2014. THE CONTROL OF DUST AND EMISSIONS DURING CONSTRUCTION AND DEMOLITION SPG. Greater London Authority, London.
53. GOG, 2014. DUST - BEST PRACTICE GUIDE. Government of Gibraltar, Gibraltar.
54. Gozgor, G., Kablamaci, B., 2015. What happened to urbanization in the globalization era? An empirical examination for poor emerging countries. Ann. Reg. Sci. 55, 533–553. <https://doi.org/10.1007/s00168-015-0716-7>
55. Gradnja.rs [WWW Document], n.d. URL <https://www.gradnja.rs/mapa/>
56. Hall, D.J., Spanton, A.M., Kukadia, V., Walker, S., 2003. EXPOSURE OF BUILDINGS TO POLLUTANTS IN URBAN AREAS: A REVIEW OF THE CONTRIBUTIONS FROM DIFFERENT SOURCES. pp. 351–391. [https://doi.org/10.1142/9781848161283\\_0012](https://doi.org/10.1142/9781848161283_0012)
57. Health Canada, 2001. Reference Manual for the Consumer Chemicals and Containers Regulations, 2001 of the Hazardous Products Act. Ottawa.
58. Heinzerling, A., Hsu, J., Yip, F., 2016. Respiratory Health Effects of Ultrafine Particles in Children: A Literature Review. Water. Air. Soil Pollut. 227.

<https://doi.org/10.1007/s11270-015-2726-6>

59. Hime, N.J., Marks, G.B., Cowie, C.T., 2018. A comparison of the health effects of ambient particulate matter air pollution from five emission sources. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 15. <https://doi.org/10.3390/ijerph15061206>
60. HKCA, 2013. *Best Practice Guide for Environmental Protection on Construction Sites*. Hong Kong Construction Association, Hong Kong.
61. Hong, J., Hong, T., Kang, H., Lee, M., 2019. A framework for reducing dust emissions and energy consumption on construction sites. *Energy Procedia* 158, 5092–5096. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.637>
62. HSE, 2015. *Managing health and safety in construction*. Health and Safety Executive, London.
63. Hussain, J., Zhou, K., 2022. Globalization, industrialization, and urbanization in Belt and Road Initiative countries: implications for environmental sustainability and energy demand. *Environ. Sci. Pollut. Res.* <https://doi.org/10.1007/s11356-022-21520-3>
64. Hvattum, M., 1966. *Šta je arhitektura*, 2020th ed. Karpos, Beograd.
65. Idrees, Z., Zheng, L., 2020. Low cost air pollution monitoring systems: A review of protocols and enabling technologies. *J. Ind. Inf. Integr.* 17, 100123. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2019.100123>
66. INKPEN, R.O.B., 1999. Atmospheric Pollution and Stone Degradation in Nineteenth Century Exeter. *Environ. Hist. Camb.* 5, 209–220.

67. ISO, 2017. ISO 14688-1:2017 Geotechnical investigation and testing — Identification and classification of soil — Part 1: Identification and description. Geneva, Switzerland.
68. Jang, E., Do, W., Park, G., Kim, M., Yoo, E., 2017. Spatial and temporal variation of urban air pollutants and their concentrations in relation to meteorological conditions at four sites in Busan, South Korea. *Atmos. Pollut. Res.* 8, 89–100.  
<https://doi.org/10.1016/j.apr.2016.07.009>
69. Jin, X., Yang, L., Du, X., Yang, Y., 2016. Particle transport characteristics in the micro-environment near the roadway. *Build. Environ.* 102, 138–158.  
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.03.023>
70. Joshi, K., Navalgund, L., Shet, V.B., 2022. Water Pollution from Construction Industry: An Introduction, in: *Ecological and Health Effects of Building Materials*. Springer International Publishing, Cham, pp. 245–257.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-030-76073-1\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-030-76073-1_13)
71. Khallaf, M. (Ed.), 2011. *The Impact of Air Pollution on Health, Economy, Environment and Agricultural Sources*. InTech. <https://doi.org/10.5772/1000>
72. Kim, H., Tae, S., 2021. Evaluation Model for Particulate Matter Emissions in Korean Construction Sites. *Sustainability* 13, 11428.  
<https://doi.org/10.3390/su132011428>
73. Kukkonen, J., Bozó, L., Palmgren, F., Sokhi, R.S., 2003. Particulate Matter in Urban Air, in: *Air Quality in Cities*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 91–120. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-05217-4\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-662-05217-4_6)
74. Künzli, N., Kaiser, R., Medina, S., Studnicka, M., Chanel, O., Filliger, P., Herry, M., Horak, F., Puybonnieux-Textier, V., Quénel, P., Schneider, J., Seethaler, R.,

- Vergnaud, J.-C., Sommer, H., 2000. Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment. *Lancet* 356, 795–801.  
[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(00\)02653-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(00)02653-2)
75. Lee, J.K., Kim, D.Y., Park, S.H., Woo, S.Y., Nie, H., Kim, S.H., 2021. Particulate Matter (PM) Adsorption and Leaf Characteristics of Ornamental Sweet Potato (*Ipomoea batatas* L.) Cultivars and Two Common Indoor Plants (*Hedera helix* L. and *Epipremnum aureum* Lindl. & Andre). *Horticulturae* 8, 26.  
<https://doi.org/10.3390/horticulturae8010026>
76. Leissner, J., 2003. THE EFFECT OF AIR POLLUTION ON GLASS. pp. 249–265. [https://doi.org/10.1142/9781848161283\\_0008](https://doi.org/10.1142/9781848161283_0008)
77. Lester, A., 2011. Guidance on the Assessment of the Impacts of Construction on Air Quality and the Determination of their Significance IAQM IAQM GUIDANCE ON CONSTRUCTION IMPACTS-DECEMBER 2011.
78. Li, B., Chen, -->Dongxiang, Wu, -->Shaohua, Zhou, -->Shenglu, Wang, T., Chen, H., 2016. Spatio-temporal assessment of urbanization impacts on ecosystem services: Case study of Nanjing City, China. *Ecol. Indic.* 71, 416–427.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.07.017>
79. Li, J., Chen, H., Li, X., Wang, M., Zhang, X., Cao, J., Shen, F., Wu, Y., Xu, S., Fan, H., Da, G., Huang, R. jin, Wang, J., Chan, C.K., De Jesus, A.L., Morawska, L., Yao, M., 2019. Differing toxicity of ambient particulate matter (PM)in global cities. *Atmos. Environ.* 212, 305–315.  
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.05.048>
80. Li, X., Chen, X., Yuan, Xingzhong, Zeng, G., León, T., Liang, J., Chen, G., Yuan, Xinliang, 2017. Characteristics of particulate pollution (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>) and their spacescale-dependent relationships with meteorological elements in China.



Sustain. 9, 1–14. <https://doi.org/10.3390/su9122330>

81. Lionetto, M.G., Guascito, M.R., Caricato, R., Giordano, M.E., De Bartolomeo, A.R., Romano, M.P., Conte, M., Dinoi, A., Contini, D., 2019. Correlation of oxidative potential with ecotoxicological and cytotoxicological potential of PM10 at an urban background site in Italy. *Atmosphere (Basel)*. 10. <https://doi.org/10.3390/ATMOS10120733>
82. Liu, D.-L., 2010. Particle Deposition onto Enclosure Surfaces, in: *Developments in Surface Contamination and Cleaning*. Elsevier, pp. 1–56. <https://doi.org/10.1016/B978-1-4377-7830-4.10001-5>
83. Lu, F., Xu, D., Cheng, Y., Dong, S., Guo, C., Jiang, X., Zheng, X., 2015. Systematic review and meta-analysis of the adverse health effects of ambient PM2.5 and PM10 pollution in the Chinese population. *Environ. Res.* 136, 196–204. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2014.06.029>
84. Maldini, S., 2004. *Enciklopedija arhitekture: arhitektura, urbanizam, dizajn, enterijer*. Beograd.
85. Mannucci, P.M., Harari, S., Martinelli, I., Franchini, M., 2015. Effects on health of air pollution: a narrative review. *Intern. Emerg. Med.* 10, 657–662. <https://doi.org/10.1007/s11739-015-1276-7>
86. Marquez, L.O., Smith, N.C., 1999. A framework for linking urban form and air quality. *Environ. Model. Softw.* 14, 541–548. [https://doi.org/10.1016/S1364-8152\(99\)00018-3](https://doi.org/10.1016/S1364-8152(99)00018-3)
87. Mohammed, A.M., Saleh, I.A., AS El-Hemaly, S., 2021. Impact of air pollutants on some building materials in Cairo atmosphere. *Mater. Sci. Eng. Int. J.* 5.

<https://doi.org/10.15406/mseij.2021.05.00156>

88. Molnár, A., Imre, K., Ferenczi, Z., Kiss, G., Gelencsér, A., 2020. Aerosol hygroscopicity: Hygroscopic growth proxy based on visibility for low-cost PM monitoring. *Atmos. Res.* 236, 104815. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.104815>
89. Mukherjee, A., Agrawal, M., 2017. World air particulate matter: sources, distribution and health effects. *Environ. Chem. Lett.* 15, 283–309. <https://doi.org/10.1007/s10311-017-0611-9>
90. Muleski, G.E., Cowherd, C., Kinsey, J.S., 2005. Particulate Emissions from Construction Activities. *J. Air Waste Manage. Assoc.* 55, 772–783. <https://doi.org/10.1080/10473289.2005.10464669>
91. Nagendra, S.S., Reddy Yasa, P., MV, N., Khadirnaikar, S., Pooja Rani, 2019. Mobile monitoring of air pollution using low cost sensors to visualize spatio-temporal variation of pollutants at urban hotspots. *Sustain. Cities Soc.* 44, 520–535. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.10.006>
92. Nawawi, N.M., Haron, Z., Jumali, S., Che Hasan, A., 2018. Occupational Noise Exposure of Construction Workers at Construction Sites in Malaysia, in: *Regional Conference on Science, Technology and Social Sciences (RCSTSS 2016)*. Springer Singapore, Singapore, pp. 519–527. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-0074-5\\_50](https://doi.org/10.1007/978-981-13-0074-5_50)
93. Ng, B.F., Xiong, J.W., Wan, M.P., 2017. Application of acoustic agglomeration to enhance air filtration efficiency in air-conditioning and mechanical ventilation (ACMV) systems. *PLoS One* 12, e0178851. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178851>

94. Nikic, D., Bogdanovic, D., Nikolic, M., Stankovic, A., Zivkovic, N., Djordjevic, A., 2009. Air quality monitoring in NIS (SERBIA) and health impact assessment. *Environ. Monit. Assess.* 158, 499–506. <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0599-5>
95. Nikic, D., Stojanovic, D., Nikolic, M., 2005. Effects of air pollution on children's health in Nis and Niska Banja. *Vojnosanit. Pregl.* 62, 537–542. <https://doi.org/10.2298/VSP0508537N>
96. Obama, B., 2011. The Pritzker Architecture Prize: Ceremony Speech.
97. Park, F.E., 2004. Air Emission Risk Assessment Combined Cycle Combustion Turbine.
98. Pope, C.A., Dockery, D.W., 2006. Health effects of fine particulate air pollution: Lines that connect. *J. Air Waste Manag. Assoc.* 56, 709–742. <https://doi.org/10.1080/10473289.2006.10464485>
99. Pope, F.D., Price, R., Pound, R., Shaw, M., Lewis, A.C., Crilley, L.R., Young, S., Kramer, L.J., 2018. Evaluation of a low-cost optical particle counter (Alphasense OPC-N2) for ambient air monitoring. *Atmos. Meas. Tech.* 11, 709–720. <https://doi.org/10.5194/amt-11-709-2018>
100. Rahman, M.M., Mazaheri, M., Clifford, S., Morawska, L., 2017. Estimate of main local sources to ambient ultrafine particle number concentrations in an urban area. *Atmos. Res.* 194, 178–189. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.04.036>
101. Rai, P.K., 2016. Particulate Matter and Its Size Fractionation, in: *Biomagnetic Monitoring of Particulate Matter*. Elsevier, pp. 1–13. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805135-1.00001-9>

102. Requia, W.J., Adams, M.D., Arain, A., Papatheodorou, S., Koutrakis, P., Mahmoud, M., 2018. Global Association of Air Pollution and Cardiorespiratory Diseases: A Systematic Review, Meta-Analysis, and Investigation of Modifier Variables. *Am. J. Public Health* 108, S123–S130. <https://doi.org/10.2105/AJPH.2017.303839>
103. RGZ, 2022. eKatastar [WWW Document]. Republički Geod. Zavod. URL <https://a3.geosrbija.rs/>
104. RHMZ, 2019. Aktuelni podaci [WWW Document]. Republički Hidrometeorol. Zavod. URL <https://www.hidmet.gov.rs/>
105. Safiuddin, M., 2017. Concrete Damage in Field Conditions and Protective Sealer and Coating Systems. *Coatings* 7, 90. <https://doi.org/10.3390/coatings7070090>
106. Salimifard, P., Rim, D., Freihaut, J.D., 2020. Evaluation of low-cost optical particle counters for monitoring individual indoor aerosol sources. *Aerosol Sci. Technol.* 54, 217–231. <https://doi.org/10.1080/02786826.2019.1697423>
107. Sampene, A.K., Li, C., Oteng-Agyeman, F., Brenya, R., 2022. Dissipating environmental pollution in the BRICS economies: do urbanization, globalization, energy innovation, and financial development matter? *Environ. Sci. Pollut. Res.* <https://doi.org/10.1007/s11356-022-21508-z>
108. Sandil, S., Kumar, R., 2022. Soil Contamination from Construction Projects, in: *Ecological and Health Effects of Building Materials*. Springer International Publishing, Cham, pp. 205–244. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-76073-1\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-030-76073-1_12)
109. Soliman, A.M., 2021. Urbanization and Urban Informality in the Era of Globalization, in: *Urban Informality*. Springer International Publishing, Cham, pp.

- 85–120. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-68988-9\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-68988-9_3)
110. Southerland, V.A., Brauer, M., Mohegh, A., Hammer, M.S., van Donkelaar, A., Martin, R. V, Apte, J.S., Anenberg, S.C., 2022. Global urban temporal trends in fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) and attributable health burdens: estimates from global datasets. *Lancet Planet. Heal.* 6, e139–e146. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(21\)00350-8](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(21)00350-8)
111. Spencer, J.H., 2014. *Globalization and Urbanization The Global Urban Ecosystem*. Rowman & Littlefield Publishers.
112. Stanković, A., Nikić, D., Nikolić, M., Bogdanović, D., 2007. Short-term Effects of Air Pollution on Cardiovascular Mortality in Elderly in Niš, Serbia. *Cent. Eur. J. Public Health* 15, 95–98. <https://doi.org/10.21101/cejph.a3425>
113. Száková, J., Zimmermannová, D., Komárek, M., Sysalová, J., Tlustoš, P., 2015. Metal sorption onto soils loaded with urban particulate matter. *Geochemistry* 75, 29–33. <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2014.07.002>
114. Tidblad, J., Kucera, V., 2003. AIR POLLUTION DAMAGE TO METALS. pp. 227–247. [https://doi.org/10.1142/9781848161283\\_0007](https://doi.org/10.1142/9781848161283_0007)
115. Tien, C., Ramarao, B.V., 2007. MECHANISMS OF PARTICLE DEPOSITION, in: *Granular Filtration of Aerosols and Hydrosols*. Elsevier, pp. 117–168. <https://doi.org/10.1016/B978-185617458-9/50005-1>
116. Ukaogo, P.O., Ewuzie, U., Onwuka, C. V., 2020. Environmental pollution: causes, effects, and the remedies, in: *Microorganisms for Sustainable Environment and Health*. Elsevier, pp. 419–429. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819001-2.00021-8>

117. US EPA, 2011. AP-42. United States Environmental Protection Agency.
118. US EPA, 2010. Quantitative Health Risk Assessment for Particulate Matter. U. S. Environ. Prot. Agency 1–596.
119. Vargas Buonfiglio, L.G., Comellas, A.P., 2020. Mechanism of ambient particulate matter and respiratory infections. *J. Thorac. Dis.* 12, 134–136.  
<https://doi.org/10.21037/jtd.2019.12.33>
120. Venkat Rao, N., Rajasekhar, M., Chinna Rao, D.R.G., 2016. Detrimental effect of Air pollution, Corrosion on Building Materials and Historical Structures. *Am. J. Eng. Res.* 3, 359–364.
121. Viecco, M., Vera, S., Jorquera, H., Bustamante, W., Gironás, J., Dobbs, C., Leiva, E., 2018. Potential of particle matter dry deposition on green roofs and living walls vegetation for mitigating urban atmospheric pollution in semiarid climates. *Sustain.* 10. <https://doi.org/10.3390/su10072431>
122. Wang, F., Liu, J., Zeng, H., 2020. Interactions of particulate matter and pulmonary surfactant: Implications for human health. *Adv. Colloid Interface Sci.* 284, 102244. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2020.102244>
123. Wang, L., Parnell, C.B., Buser, M.D., 2007. Theoretical Study of the Impact of Particulate Matter Gravitational Settling on Ambient Coarse Particulate Matter Monitoring for Agricultural Emissions. *J. Air Waste Manage. Assoc.* 57, 111–115. <https://doi.org/10.1080/10473289.2007.10465300>
124. Wang, Q., Wang, X., Li, R., 2022. Does urbanization redefine the environmental Kuznets curve? An empirical analysis of 134 Countries. *Sustain. Cities Soc.* 76, 103382. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103382>

125. Warren, L., Zimmerman, A., 1994. Suspended particulate oxides and organic matter interactions in trace metal sorption reactions in a small urban river. *Biogeochemistry* 24. <https://doi.org/10.1007/BF00001305>
126. Watt, J., Hamilton, R., 2003. THE SOILING OF BUILDINGS BY AIR POLLUTION. pp. 289–334. [https://doi.org/10.1142/9781848161283\\_0010](https://doi.org/10.1142/9781848161283_0010)
127. Werner, M., Kryza, M., Wind, P., 2018. High resolution application of the EMEP MSC-W model over Eastern Europe – Analysis of the EMEP4PL results. *Atmos. Res.* 212, 6–22. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.04.025>
128. White, P.A., Rasmussen, J.B., Blaise, C., 1996. Sorption of organic genotoxins to particulate matter in industrial effluents. *Environ. Mol. Mutagen.* 27, 140–151. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2280\(1996\)27:2<140::AID-EM8>3.0.CO;2-K](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2280(1996)27:2<140::AID-EM8>3.0.CO;2-K)
129. WHO, 2022. World health statistics 2022 (Monitoring health of the SDGs).
130. WHO, 2021. WHO global air quality guidelines. *Coast. Estuar. Process.* 1–360.
131. WHO, 2016a. Health risk assessment of air pollution – general principles. *Int. J. Mass Spectrom.* 40.
132. WHO, 2016b. Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease. World Health Organization, Geneva, Switzerland.
133. Williamson, J.G., 1988. Chapter 11 Migration and urbanization. pp. 425–465. [https://doi.org/10.1016/S1573-4471\(88\)01014-9](https://doi.org/10.1016/S1573-4471(88)01014-9)
134. WRAP, 2006. Construction and Demolition, Western Regional Air Partnership (WRAP), in: *Fugitive Dust Handbook*,.

135. Wróblewska, K., Jeong, B.R., 2021. Effectiveness of plants and green infrastructure utilization in ambient particulate matter removal. *Environ. Sci. Eur.* 33, 110. <https://doi.org/10.1186/s12302-021-00547-2>
136. Wu, J., Xie, W., Li, W., Li, J., 2015. Effects of urban landscape pattern on PM2.5 Pollution-A Beijing Case Study. *PLoS One* 10, 1–20. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0142449>
137. Wu, Y., Liu, J., Zhai, J., Cong, L., Wang, Y., Ma, W., Zhang, Z., Li, C., 2018. Comparison of dry and wet deposition of particulate matter in near-surface waters during summer. *PLoS One* 13, 1–15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0199241>
138. Wyzga, R.E., Lipfert, F.W., 1985. Forecasting Materials Damage from Air Pollution. *Am. Stat.* 39, 423–430. <https://doi.org/10.1080/00031305.1985.10479477>
139. Xing, J., Ye, K., Zuo, J., Jiang, W., 2018. Control Dust Pollution on Construction Sites: What Governments Do in China? *Sustainability* 10, 2945. <https://doi.org/10.3390/su10082945>
140. Yadav, I.C., Devi, N.L., 2019. Biomass Burning, Regional Air Quality, and Climate Change, in: *Encyclopedia of Environmental Health*. Elsevier, pp. 386–391. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11022-X>
141. Yadav, R., Vyas, P., Kumar, P., Sahu, L.K., Pandya, U., Tripathi, N., Gupta, M., Singh, V., Dave, P.N., Rathore, D.S., Beig, G., Jaaffrey, S.N.A., 2022. Particulate Matter Pollution in Urban Cities of India During Unusually Restricted Anthropogenic Activities. *Front. Sustain. Cities* 4. <https://doi.org/10.3389/frsc.2022.792507>



142. Yan, H., Ding, G., Li, H., Wang, Y., Zhang, L., Shen, Q., Feng, K., 2019. Field evaluation of the dust impacts from construction sites on surrounding areas: A city case study in China. *Sustain.* 11, 1–19. <https://doi.org/10.3390/su11071906>
143. Yan, L., 2020. Legislation of air pollution control in China. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 512, 012029. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/512/1/012029>
144. Yang, D., Ye, C., Wang, X., Lu, D., Xu, J., Yang, H., 2018. Global distribution and evolvement of urbanization and PM<sub>2.5</sub> (1998–2015). *Atmos. Environ.* 182, 171–178. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.03.053>
145. Yang, J., Tae, S., Kim, H., 2021. Technology for Predicting Particulate Matter Emissions at Construction Sites in South Korea. *Sustainability* 13, 13792. <https://doi.org/10.3390/su132413792>
146. Yates, T., 2003. MECHANISMS OF AIR POLLUTION DAMAGE TO BRICK, CONCRETE AND MORTAR. pp. 107–132. [https://doi.org/10.1142/9781848161283\\_0004](https://doi.org/10.1142/9781848161283_0004)
147. Yocom, J.E., 1979. Air Pollution Damage To Buildings On The Acropolis. *J. Air Pollut. Control Assoc.* 29, 333–338. <https://doi.org/10.1080/00022470.1979.10470796>
148. Yocom, J.E., 1958. The Deterioration of Materials in Polluted Atmospheres. *J. Air Pollut. Control Assoc.* 8, 203–208. <https://doi.org/10.1080/00966665.1958.10467845>
149. Zhang, L., Zhao, N., Zhang, W., Wilson, J.P., 2022. Changes in Long-Term PM<sub>2.5</sub> Pollution in the Urban and Suburban Areas of China’s Three Largest Urban Agglomerations from 2000 to 2020. *Remote Sens.* 14, 1716.

<https://doi.org/10.3390/rs14071716>

150. Zhang, R., Jing, J., Tao, J., Hsu, S.C., Wang, G., Cao, J., Lee, C.S.L., Zhu, L., Chen, Z., Zhao, Y., Shen, Z., 2013. Chemical characterization and source apportionment of PM<sub>2.5</sub> in Beijing: Seasonal perspective. *Atmos. Chem. Phys.* 13, 7053–7074. <https://doi.org/10.5194/acp-13-7053-2013>
151. Zhang, R., Wang, G., Guo, S., Zamora, M.L., Ying, Q., Lin, Y., Wang, W., Hu, M., Wang, Y., 2015. Formation of Urban Fine Particulate Matter. *Chem. Rev.* 115, 3803–3855. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.5b00067>
152. Zhao, X., Zhou, W., Wu, T., Han, L., 2022. The impacts of urban structure on PM<sub>2.5</sub> pollution depend on city size and location. *Environ. Pollut.* 292, 118302. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118302>
153. Zou, B., Xu, S., Sternberg, T., Fang, X., 2016. Effect of land use and cover change on air quality in urban sprawl. *Sustain.* 8. <https://doi.org/10.3390/su8070677>

## ПОПИС И ИЗВОРИ ИЛУСТРАЦИЈА И ТАБЕЛА

### Илустрације

Слика 1. Мапа активних градилишта на нивоу града Новог Сада у 2019. години.....	15
Слика 2. Селектована градилишта на којим су постављени сензори.....	16
Слика 3. Приказ локације С1 на Ортофото карти из 2021. (локација је означена црвеном бојом).....	17
Слика 4. Приказ локације С1 са објектима према катастарским плановима.....	18
Слика 5. Профил планиране реконструкције пута на локацији С1.....	18
Слика 6. Изглед а) пре и б) после реконструкције пута на локацији С1.....	19
Слика 7. Предиктовано кретање суспендованих честица (локација С1) на висини од: а) 10м и б) 100 м.....	19
Слика 8. Приказ локације С2 на Ортофото карти из 2021. (локација означена црвеном бојом).....	20
Слика 9. Профил улице и положај објеката, објекат С2 означен плавом бојом.....	21
Слика 10. Приказ локације С2 са објектима према катастарским плановима.....	21
Слика 11. Изглед а) пре и б) после изградње објекта С2.....	22
Слика 12. Предиктовано кретање суспендованих честица (локација С2) на висини од: а) 10м и б) 100 м.....	22
Слика 13. Приказ локације С3 на Ортофото карти из 2021. (локација је означена црвеном бојом).....	23
Слика 14. Приказ локације С3 са објектима према катастарским плановима.....	24

Слика 15. Профил улице и положај објеката, објекат С3 означен плавом бојом.....	24
Слика 16. Изглед објекта С3 а) пре и б) после изградње.....	25
Слика 17. Предиктовано кретање суспендованих честица на локацији С3 при висини од: а) 10м и б) 100 м.....	25
Слика 18. Приказ локације С4 на Ортофото карти из 2021. (локација је означена црвеном бојом).....	26
Слика 19. Приказ локације С4 са објектима према катастарским плановима.....	27
Слика 20. Изглед објекта С4 а) пре и б) после изградње.....	27
Слика 22. Предиктовано кретање суспендованих честица на локацији С4 при висини од: а) 10м и б) 100 м.....	28
Слика 23. Приказ локације С5 на Ортофото карти из 2021. (локација је означена црвеном бојом).....	29
Слика 24. Приказ локације С5 са објектима према катастарским плановима.....	30
Слика 25. Изглед објекта а) пре и б) после изградње.....	31
Слика 26. Предиктовано кретање суспендованих честица на локацији С5 при висини од: а) 10м и б) 100 м.....	31
Слика 31. Испитивање процента финих честица у мензурама.....	36
Слика 32. Мерење укупне количине испитиваног земљишта (а) и слоја финих честица (б).....	37
Слика 33. а) Изглед повезаних компоненти сензорског уређаја; б) шема преноса података.....	38
Слика 34. Емисија суспендованих честица током урбаних трансформација и систем мониторинга.....	50

---

Слика 35. Троелементни систем мониторинга.....	57
Слика 36. Фазе пројетног планирања.....	61
Слика 37. принцип мониторинга концентрације суспендованих честица.....	99
Слика 38. Дијаграм расипања – дисперзије.....	103
Слика 40. Приказ дисперзије ПМ честица на праћеним локацијама града Новог Сада: а) на 10м, б) на 100м.....	109

**Табеле**

Табела 1. Емисиони фактори према типу објекта.....	34
Табела 2. Ефикасност мера – однос цене и успешности митигације.....	88
Табела 3. Применљиве мере и модели на нивоу Републике Србије.....	94
Табела 4. Резултати мониторинга примене дефинисаних мера митигације суспендованих честица на 100 активних градилишта у току 2019. године.....	97
Табела 5. Резултати мониторинга емисије суспендованих честица.....	100
Табела 6. Корелациони односи селектованих параметара на локацији Ц1.....	103
Табела 7. Корелациони односи селектованих параметара на локацији Ц2.....	104
Табела 8. Корелациони односи селектованих параметара на локацији Ц3.....	104
Табела 9. Корелациони односи селектованих параметара на локацији Ц4.....	105
Табела 10. Корелациони односи селектованих параметара на локацији Ц5.....	105
Табела 11. Корелациони односи селектованих параметара.....	106
Табела 12. Вредности индекса квалитета ваздуха на дневном нивоу према резултатима мониторинга (жута боја – штетан, црвена боја – нездрав).....	108

## План третмана података

<b>Назив пројекта/истраживања</b>
Урбанистичко-архитектонске методе и модели заштите градова од емисије суспендованих честица
<b>Назив институције/институција у оквиру којих се спроводи истраживање</b>
а) Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду
<b>Назив програма у оквиру ког се реализује истраживање</b>
Пројекат Министарства просвете, науке и технолошког развоја „Развој метода, сензора и система за мониторинг квалитета воде, ваздуха и земљишта“.
<b>1. Опис података</b>
<p>1.1 Врста студије</p> <p><i>Укратко описати тип студије у оквиру које се подаци прикупљају</i></p> <p><u>Докторска дисертација</u></p>
<p>1.2 Врсте података</p> <p>а) <u>квантитативни</u></p> <p>б) <u>квалитативни</u></p>
<p>1.3. Начин прикупљања података</p> <p>а) анкете, упитници, тестови</p> <p>б) клиничке процене, медицински записи, електронски здравствени записи</p> <p>в) генотипови: навести врсту _____</p> <p>г) административни подаци: навести врсту _____</p> <p>д) узорци ткива: навести врсту _____</p> <p>ђ) <u>снимци, фотографије: снимци објеката на лицу места</u></p> <p>е) <u>текст: преглед доступне литературе</u></p> <p>ж) <u>мапа: доступне мапе Геосрбија - Национална Инфраструктура Геопросторних Података</u></p> <p>з) <u>остало: Мерења оптичким сензором, лабораторијске анализе.</u></p> <p>_____</p>
<p>1.3 Формат података, употребљене скале, количина података</p>

1.3.1 Употребљени софтвер и формат датотеке:

- a) Excel фајл, датотека .xlsx
- b) SPSS фајл, датотека \_\_\_\_\_
- c) PDF фајл, датотека .pdf
- d) Текст фајл, датотека .docx
- e) JPG фајл, датотека .jpg
- f) Остало, датотека \_\_\_\_\_

1.3.2. Број записа (код квантитативних података)

- a) број варијабли 4
- b) број мерења (испитаника, процена, снимака и сл.) 2750

1.3.3. Поновљена мерења

- a) да
- b) не

Уколико је одговор да, одговорити на следећа питања:

- a) временски размак између поновљених мера је \_\_\_\_\_
- b) варијабле које се више пута мере односе се на \_\_\_\_\_
- v) нове верзије фајлова који садрже поновљена мерења су именоване као \_\_\_\_\_

Напомене: \_\_\_\_\_

*Да ли формати и софтвер омогућавају дељење и дугорочну валидност података?*

a) Да

b) Не

*Ако је одговор не, образложити \_\_\_\_\_*

## 2. Прикупљање података

2.1 Методологија за прикупљање/генерисање података

2.1.1. У оквиру ког истраживачког нацрта су подаци прикупљени?

- a) експеримент: Сензорско мерење параметара и секвенцијална седиментација



б) корелационо истраживање: корелација добијених параметара сензорског мерења

ц) анализа текста: прикупљање података анализом доступне литературе

д) остало, навести шта \_\_\_\_\_

2.1.2 *Навести врсте мерних инструмената или стандарде података специфичних за одређену научну дисциплину (ако постоје).*

**Оптички сензор за мерење емисије суспендованих честица развијен у оквиру пројекта базиран на OPC-N2 честичном бројачу, прекалибрисан према стандарду EN481. Мензуре**

2.2 Квалитет података и стандарди

2.2.1. Третман недостајућих података

а) Да ли матрица садржи недостајуће податке? Да **Не**

Ако је одговор да, одговорити на следећа питања:

а) Колики је број недостајућих података? \_\_\_\_\_

б) Да ли се кориснику матрице препоручује замена недостајућих података? Да Не

в) Ако је одговор да, навести сугестије за третман замене недостајућих података

2.2.2. На који начин је контролисан квалитет података? Описати

**Квалитет података је контролисан поређењем експерименталних и теоријских података.**

2.2.3. На који начин је извршена контрола уноса података у матрицу?

**Контрола уноса података у матрицу је извршена унакрсним поређењем појединачних и сумарних вредности у матрици са вредностима из иницијалне базе података.**

### 3. Третман података и пратећа документација

3.1. Третман и чување података

3.1.1. Подаци ће бити депоновани у Репозиторијум докторских дисертација на Универзитету у Новом Саду.

3.1.2. URL адреса <https://www.cris.uns.ac.rs/theses.jsf>

3.1.3. DOI \_\_\_\_\_

3.1.4. Да ли ће подаци бити у отвореном приступу?

а) Да

б) Да, али после ембарга који ће трајати до \_\_\_\_\_

в) Не

Ако је одговор не, навести разлог \_\_\_\_\_

3.1.5. Подаци неће бити депоновани у репозиторијум, али ће бити чувани.

Образложење

\_\_\_\_\_

3.2 Метаподаци и документација података

3.2.1. Који стандард за метаподатке ће бити примењен? \_\_\_\_\_

3.2.1. Навести метаподатке на основу којих су подаци депоновани у репозиторијум.

\_\_\_\_\_

Ако је потребно, навести методе које се користе за преузимање података, аналитичке и процедуралне информације, њихово кодирање, детаљне описе варијабли, записа итд.

\_\_\_\_\_

3.3 Стратегија и стандарди за чување података

3.3.1. До ког периода ће подаци бити чувани у репозиторијуму? \_\_\_\_\_

3.3.2. Да ли ће подаци бити депоновани под шифром? Да Не

3.3.3. Да ли ће шифра бити доступна одређеном кругу истраживача? Да Не

3.3.4. Да ли се подаци морају уклонити из отвореног приступа после извесног времена?

Да Не

Образложити

## 4. Безбедност података и заштита поверљивих информација

Овај одељак МОРА бити попуњен ако ваши подаци укључују личне податке који се односе на учеснике у истраживању. За друга истраживања треба такође размотрити заштиту и сигурност података.

4.1 Формални стандарди за сигурност информација/података

Истраживачи који спроводе испитивања с људима морају да се придржавају Закона о заштити података о личности ([https://www.paragraf.rs/propisi/zakon\\_o\\_zastiti\\_podataka\\_o\\_licnosti.html](https://www.paragraf.rs/propisi/zakon_o_zastiti_podataka_o_licnosti.html)) и

одговарајућег институционалног кодекса о академском интегритету.

4.1.2. Да ли је истраживање одобрено од стране етичке комисије? Да Не

Ако је одговор Да, навести датум и назив етичке комисије која је одобрила истраживање

---

4.1.2. Да ли подаци укључују личне податке учесника у истраживању? Да Не

Ако је одговор да, наведите на који начин сте осигурали поверљивост и сигурност информација везаних за испитанике:

- a) Подаци нису у отвореном приступу
- б) Подаци су анонимизирани
- ц) Остало, навести шта

## 5. Доступност података

5.1. Подаци ће бити

**a) јавно доступни**

б) доступни само уском кругу истраживача у одређеној научној области

ц) затворени

Ако су подаци доступни само уском кругу истраживача, навести под којим условима могу да их користе:

---

Ако су подаци доступни само уском кругу истраживача, навести на који начин могу приступити подацима:

---

5.4. Навести лиценцу под којом ће прикупљени подаци бити архивирани.

Ауторство.

## 6. Улоге и одговорност

6.1. Навести име и презиме и мејл адресу власника (аутора) података

Миљан Шуњевић, [msunjevic@uns.ac.rs](mailto:msunjevic@uns.ac.rs)

6.2. Навести име и презиме и мејл адресу особе која одржава матрицу с подацима

Миљан Шуњевић, [msunjevic@uns.ac.rs](mailto:msunjevic@uns.ac.rs)

6.3. Навести име и презиме и мејл адресу особе која омогућује приступ подацима другим истраживачима

Миљан Шуњевић, [msunjevic@uns.ac.rs](mailto:msunjevic@uns.ac.rs)