

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ШУМАРСКИ ФАКУЛТЕТ

Синиша Ј. Половина

**КОМПАРАЦИЈА МЕТОДА ЗА
КВАНТИФИКАЦИЈУ ИНТЕНЗИТЕТА
ЕРОЗИОНИХ ПРОЦЕСА – СТУДИЈА СЛУЧАЈА
ПОДРУЧЈА ГЕНЕРАЛНОГ ПЛАНА БЕОГРАДА**

докторска дисертација

Београд, 2022.

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF FORESTRY

Siniša J. Polovina

**COMPARISON OF METHODS FOR
QUANTIFYING EROSION PROCESSES
INTENSITY - A CASE STUDY OF THE
BELGRADE MASTER PLAN AREA**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2022.

Ментор:

др **Ратко Ристић**, редовни професор
Универзитет у Београду Шумарски факултет

Чланови комисије:

др **Борис Радић**, ванредни професор
Универзитет у Београду Шумарски факултет

др **Милева Самарцић-Петровић**, доцент
Универзитет у Београду Грађевински факултет

др **Мирјана Тодосијевић**, ванредни професор
Универзитет у Београду Шумарски факултет

др **Тијана Вулевић**, доцент
Универзитет у Београду Шумарски факултет

Велику захвалност за подршку током израде дисертације дугујем др Ратку Ристићу, ред. проф.; др Борису Радићу, ван. проф.; др Милеви Самарцић-Петровић, доцент; др Мирјани Тодосијевић, ван. проф и др Тијани Вулевић, доцент.

Поред тога, захваљујем колегама и пријатељима који су на различите начине помогли током рада на теми, Олгици Гвоздић, дипл. инж. шум. (Урбанистички завод Београд); др Јовану Ковачевићу, асистент (Катедра за геодезију и геоинформатику Грађевинског факултета Универзитета у Београду); др Зорани Матаруги, истраживач сарадник (одељење за екологију-Института за биолошка истраживања "Синиша Станковић" Института од националног значаја за Републику Србију); др Сузани Гавриловић, асистент (Одсек за пејзажну архитектуру и хортикултуру Шумарског факултета Универзитета у Београду); др Николи Живановићу, асистент, др Вукашину Милчановићу, асистент, MSc Александру Баумгертелу, асистент (Одсек за еколошки инжењеринг у заштити земљишних и водних ресурса Шумарског факултета Универзитета у Београду)

Неизмерну захвалност за сталну подршку дугујем родитељима Јоци и Неди, сестри Сандри и њеној породици.

КЉУЧНЕ ДОКУМЕНТАЦИОНЕ ИНФОРМАЦИЈЕ

Редни број (РБ):	
Идентификациони број (ИБР)	
Тип документације (ТД):	Монографска публикација
Тип записа (ТЗ):	Текстуални штампани документ
Врста рада (ВР):	Докторска дисертација
Аутор (АУ):	Синиша Половина, маг.инж.шум. за еколошки инжењеринг у заштити земљишних и водних ресурса
Ментор (МН):	др Ратко Ристић, редовни професор Универзитет у Београду Шумарски факултет
Наслов рада (НР):	Компарација метода за квантификацију интензитета ерозионих процеса – студија случаја подручја Генералног плана Београда
Језик публикације (ЈП):	Српски / ћирилица
Земља публикације (ЗП):	Србија
Географско подручје (УГП):	Србија
Година (ГО):	2022.
Издавач (ИЗ):	Ауторски репринт
Место и адреса (МА):	11 030 Београд, Кнеза Вишеслава 1
Физички опис рада:	9 поглавља, 175 страница, 442 литературна навода, 112 илустрације, 65 табела
Научна област (НО):	Биотехничке науке
Научна дисциплина (DIS):	Ерозија и конзервација земљишта и вода
Предметна одредница / кључне речи (ПО)	ерозија земљишта, ерозионни модели, урбани предели, даљинска детекција, структура земљишног покривача, Метод Потенцијала ерозије, RUSLE, G2
УДК:	551.3.053:005.521:519.876.5(497.11 Beograd)(043.3)
Чува се (ЧУ):	Библиотека Шумарског факултета, Кнеза Вишеслава 1, 11030 Београд, Србија
Важна напомена (ВН):	Нема
Извод (ИЗ):	У тексту који следи
Датум прихватања теме од стране НН:	26.01.2022.
Датум одбране (ДО):	
Чланови комисије (КО):	др Борис Радић, ванредни професор Универзитет у Београду Шумарски факултет др Милева Самарцић-Петровић, доцент Универзитет у Београду Грађевински факултет др Мирјана Тодосијевић, ванредни професор Универзитет у Београду Шумарски факултет др Тијана Вулевић, доцент Универзитет у Београду Шумарски факултет

КОМПАРАЦИЈА МЕТОДА ЗА КВАНТИФИКАЦИЈУ ИНТЕНЗИТЕТА ЕРОЗИОНИХ ПРОЦЕСА – СТУДИЈА СЛУЧАЈА ПОДРУЧЈА ГЕНЕРАЛНОГ ПЛАНА БЕОГРАДА

САЖЕТАК

Ерозија земљишта представља сложен еколошки проблем, природног и антропогено индукованог порекла, присутан на глобалном нивоу, са негативним последицама по квалитет животне средине, очување и расположивост природних ресурса, безбедност становништва и материјалну сигурност, подједнако у руралним и урбаним пределима. Убрзани раст броја становника и ширење урбанизованих површина доводе до изражених промена у намени и структури земљишног покривача, услед трансформације пољопривредних и шумских, као и природних и природи блиских површина, у непорозне површине. Услед деловања ових процеса, углавном стихијског карактера, савремени градови као генератори промена представљају „отворене лабораторије“ за детекцију глобалних трендова, али истовремено и за проналажење модалитета за њихово ублажавање. Репрезентативан пример оваквог просторног процеса је подручје урбаног предела Београда, односно територија за коју се израђује Генерални урбанистички план (ГУП), на површини од 778,54 km². ГУП представља основни просторно-плански и урбанистички инструмент за реализацију концепта одрживог развоја подручја Београда, кроз систем смерница које дефинишу концепцију развоја, уређивања и заштите града.

Реализација решења предвиђених ГУП-ом, у савременом контексту, подразумева коришћење репрезентативних база података о актуелним и прогнозираним ерозионом процесима, у погледу просторне дистрибуције и интензитета. У оквиру овог рада, анализа је обављена за два временска пресека (2001. и 2019. година), где је један од основних показатеља стање структуре земљишног покривача у 2001. години, уз анализу климатских показатеља за период од 1971. до 2001. године. Такође, обављена је анализа стања земљишног покривача у 2019. години, уз коришћење RCP8.5 климатског сценарија који је очекиван за средину XXI века (2046-2065. година). Примењена су три емпиријска ерозиона модела: Метод Потенцијала ерозије (МПЕ), Ревидирана универзална једначина за прорачун губитка земљишта (Revised Universal Soil Loss Equation–RUSLE) и Geoland 2 (G2). Имплементација ерозионих модела у урбаним условима, уз примену различитих климатских сценарија, кроз квантификацију динамике промена структуре површина, обављена је применом савремене методологије, са резултатима који су апликативни у процесу израде планских докумената и креирању решења за контролу и ублажавање ефеката деловања деструктивних ерозионих процеса, брзог површинског отицаја и појаве бујичних поплава.

Кључне речи: ерозија земљишта, ерозиони модели, урбани предели, даљинска детекција, структура земљишног покривача, Метод Потенцијала ерозије, RUSLE, G2

Научна област: Биотехника

Ужа научна област: Ерозија и конзервација земљишта и вода

УДК: 551.3.053:005.521:519.876.5(497.11 Beograd)(043.3)

KEY WORD DOCUMENTATION

Accession number (ANO):	
Identification number (INO):	
Document type (DT):	Monograph documentation Type
Type of record (TR):	Textual printed document
Contains code (CC):	Doctoral dissertation Author
(AU):	Siniša Polovina, MSc in ecological engineering for soil and water resources protection
Menthor (MN):	PhD Ratko Ristić, full professor University of Belgrade Faculty of Forestry
Title (TI):	Comparison of methods for quantifying erosion processes intensity - a case study of the Belgrade Master plan area
Language of text (LT):	Serbian/ Cyrillic alphabet
Country of publication (CP):	Serbia
Locality of publication (LP):	Belgrade
Publication year (PY):	2022.
Publisher (PU):	The authors reprint
Publication place (PP):	11 030 Belgrade, Kneza Višeslava 1
Physical description (PD):	9 chapters, 175 pages, 442 references, 112 illustrations, 65 tables
Scientific field (SF):	Biotechnological sciences
Scientific discipline (SD):	Erosion and soil and water conservation
Subject/Key words (CX):	soil erosion, erosion models, urban landscapes, remote sensing, land cover structure, Erosion Potential Method, RUSLE, G2
UC:	551.3.053:005.521:519.876.5(497.11 Beograd)(043.3)
Holding Data (HD):	Library of Faculty of Forestry, Kneza Višeslava 1, 11030 Belgrade
Note (N):	None
Abstract (AB):	In the following text
Accepted by Scientific Board on (ACB):	26.01.2022.
Defended on (DE):	
Thesis Defend Board (DB):	PhD Boris Radić, associate professor University of Belgrade Faculty of Forestry PhD Mileva Samardžić-Petrović, assistant professor University of Belgrade Faculty of Civil Engineering PhD Mirjana Todosijević, associate professor University of Belgrade Faculty of Forestry PhD Tijana Vulević, assistant professor University of Belgrade Faculty of Forestry

COMPARISON OF METHODS FOR QUANTIFYING EROSION PROCESSES INTENSITY - A CASE STUDY OF THE BELGRADE MASTER PLAN AREA

ABSTRACT

Soil erosion is a complex environmental problem of natural and anthropogenically induced origin, which is present on a global scale, with negative consequences for environmental quality, conservation and availability of natural resources, population safety and material security, both in rural and urban areas. Accelerated population growth and the expansion of urban areas lead to marked changes in the purpose and structure of land cover, due to the transformation of both agricultural and forest areas, and natural and close-to-nature areas into non-porous areas. Due to the effects of these mostly spontaneous processes, modern cities as generators of change are "open laboratories" for detecting global trends, but also for finding modalities to mitigate them. A representative example of such a spatial process can be observed in the urban landscape of Belgrade, i.e. the territory for which the Master Plan (MP) is produced, on an area of 778,54 km². The MP is the basic spatial-planning and urban instrument for the realization of the concept of sustainable development of the Belgrade area, through a system of guidelines that define the concept of development, regulation and protection of the city.

In the modern context, the implementation of solutions envisaged by the MP implies the use of representative databases on current and forecasted erosion processes in terms of spatial distribution and intensity. In this research, the analysis was performed for two time sections (2001 and 2019), while one of the basic indicators is the state of the land cover structure in 2001, with the analysis of climate indicators for the period 1971-2001. In addition, an analysis of the state of land cover in 2019 was performed, using the RCP8.5 climate scenario expected for the middle of the 21st century (2046-2065). Three empirical erosion models have been applied: the Erosion Potential Method (EPM), the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) and Geoland 2 (G2). The implementation of erosion models was performed using modern methodology in urban conditions with the application of different climate scenarios through the quantification of change dynamics in the surface structure. The related results are applicable in the process of drafting planning documents and creating solutions to control and mitigate the effects of destructive erosion processes, fast surface runoff and the occurrence of torrential floods.

Keywords: soil erosion, erosion models, urban landscapes, remote sensing, land cover structure, Erosion Potential Method, RUSLE, G2

Scientific field (SF): Biotechnical science

Scientific discipline (SD): Erosion and soil and water conservation

UDC: 551.3.053:005.521:519.876.5(497.11 Beograd)(043.3)

САДРЖАЈ

1. УВОД.....	1
1.1. Предмет рада и проблем истраживања.....	1
1.2. Циљ рада.....	2
1.3. Основне хипотезе	2
1.4. Општи метод рада	3
2. ТРАДИЦИОНАЛНИ И САВРЕМЕНИ ПРИСТУП У ПРОБЛЕМАТИЦИ ЕРОЗИЈЕ ЗЕМЉИШТА: ПРЕГЛЕД И АНАЛИЗА ЛИТЕРАТУРЕ.....	5
2.1. Ерозија земљишта - урбанизована подручја.....	6
2.2. Ерозија земљишта - просторна и временска размера.....	8
2.3. Ерозија земљишта - моделирање	11
2.4. Ерозија земљишта - даљинска детекција и ГИС технологија	17
2.4.1. Примена даљинске детекције	19
2.4.2. Избор сателитских снимака за моделирање структуре земљишног покривача и ерозије земљишта.....	20
2.4.3. Анализа и обрада сателитских снимака	21
2.4.4. Методе класификације структуре земљишног покривача.....	24
3. МЕТОД РАДА	25
3.1. Примена Random Forest методе у класификацији земљишног покривача.....	25
3.1.1. Оцена тачности класификације сателитских снимака	27
3.2. Примена Метод Потенцијала ерозије на истраживаном подручју	29
3.2.1. Температурни коефицијент подручја (T)	31
3.2.2. Средња годишња количина падавина (H_{god})	31
3.2.3. Коефицијент ерозије (Z)	31
3.2.4. Коефицијент отпора земљишта на ерозију (Y).....	32
3.2.5. Коефицијент уређења слива ($X \cdot a$).....	33
3.2.6. Коефицијент видљивих и јасно изражених ерозионих процеса (ϕ)	33
3.2.7. Средњи нагиб терена (I_{sr}).....	33
3.3. Примена RUSLE модела на истраживаном подручју	33
3.3.1. Фактор ерозионе снаге кише (R).....	34
3.3.2. Фактор еродибилности земљишта (K).....	35
3.3.3. Топографски фактор (LS)	35
3.3.4. Фактор вегетације и начина коришћења земљишта (C)	37
3.3.5. Фактор конзервационих мера (P).....	37
3.4. Примена G2 (Geoland 2) модела на истраживаном подручју	37
3.4.1. Фактор ерозионе снаге кише (R).....	39
3.4.2. Вегетациони фактор ретенције (V).....	39
3.4.3. Фактор еродибилности земљишта (S)	40

3.4.4. Фактор топографског утицаја (Т).....	41
3.4.5. Фактор ефекта предеоног обрасца (L).....	41
3.5. Примена статистичких и геостатистичких метода.....	43
4. МАТЕРИЈАЛ РАДА (ОПИС РЕЛЕВАТНИХ ФАКТОРА).....	46
4.1. Географски положај и просторна стратификација.....	46
4.2. Климатске карактеристике.....	49
4.3. Геоморфолошки услови средине.....	51
4.3.1. Геоморфолошки облици рељефа.....	51
4.3.2. Нагиб терена.....	57
4.3.3. Закривљеност терена.....	58
4.3.4. Вертикална рашчлањеност терена.....	61
4.4. Педолошке карактеристике.....	62
4.5. Вегетација истраживаног подручја.....	67
4.6. Намена површина и земљишни покривач.....	69
5. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА.....	75
5.1. Класификација структуре земљишног покривача.....	75
5.1.1. Резултати анализа спектралних индекса за референтни период.....	75
5.1.2. Оцена тачности класификације земљишног покривача.....	82
5.1.3. Промена структуре земљишног покривача за референтни период.....	85
5.2. Примена Методе Потенцијала ерозије за референтни период.....	87
5.2.1. Температурни коефицијент подручја (Т).....	87
5.2.2. Средња годишња количина падавина (H_{god}).....	88
5.2.3. Коефицијент отпора земљишта на ерозију (Y).....	88
5.2.4. Коефицијент уређења слива ($X \cdot a$).....	88
5.2.5. Коефицијент видљивих и јасно изражених ерозионих процеса (ϕ).....	88
5.2.6. Средњи нагиб терена на истраживаном подручју.....	88
5.2.7. Коефицијент ерозије (Z).....	92
5.2.8. Процена губитака земљишта према Методи Потенцијала ерозије.....	94
5.3. Примена RUSLE модела за референтни период.....	97
5.3.1. Фактор ерозионе снаге кише (R).....	97
5.3.2. Фактор еродибилности земљишта (K).....	99
5.3.3. Топографски фактор (LS).....	100
5.3.4. Фактор начина коришћења земљишта (C).....	100
5.3.5. Процена губитака земљишта према моделу RUSLE.....	102
5.4. Примена G2 модела за референтни период.....	104
5.4.1. Фактор ерозионе снаге кише (R).....	104
5.4.3. Фактор еродибилности земљишта (S).....	108
5.4.4. Фактор топографског утицаја (Т).....	108
5.4.5. Фактор ефекта предеоног обрасца (L).....	108

5.4.6. Процена губитака земљишта према моделу G2.....	110
5.5. Компарација резултата примењених метода	112
5.5.1. Компаративна анализа између ерозионих фактора	112
5.5.2. Компаративна анализа интензитета ерозионих процеса у односу на просторну стратификацију	114
5.5.3. Компаративна анализа интензитета ерозионих процеса у односу на планирану намену ..	118
6. ДИСКУСИЈА.....	127
6.1. Оцена тачности класификације и анализе промене структуре земљишног покривача	127
6.2. Анализа интензитета ерозионих процеса као фактора деградације земљишта.....	129
6.3. Компаративна анализа израчунатих вредности интензитета ерозионих процеса као фактора деградације земљишта	132
7. ЗАКЉУЧАК.....	136
8. ЛИТЕРАТУРА	139
9. ПРИЛОЗИ	163
ПРИЛОГ А	164
ПРИЛОГ Б.....	170

1. УВОД

„У суштини, сви модели су погрешни, али неки су корисни.“

George E. P. Box

1.1. Предмет рада и проблем истраживања

Ерозија је један од важнијих савремених проблема деградације земљишта и значајан фактор угрожавања животне средине широм света (Jain, Das, 2010). На ерозију земљишта и последичну продукцију ерозионог материјала утичу временски статични (условно непромењиви) параметри, као што су карактеристике рељефа, геолошка и педолошка својства, али и временски динамични (променљиви) параметри, односно, клима, хидролошки услови средине, осцилације нивоа подземних вода, начин коришћења земљишта и сл. (Milliman, Syvitski, 1992; Zhang, Wenhong, et al., 2010; Zhu, Li, 2014). Развојем антропогених система, кроз процесе урбанизације и неадекватног коришћења природних ресурса (нпр. конверзија пољопривредног земљишта у грађевинско, неодговарајуће технике обраде пољопривредног земљишта, неконтролисана испаша и сл.), долази до интензивирања процеса ерозије земљишта у готово свим деловима света (Bennett, 1939; Ahmadi, 1995; Zhang et al., 2015). Резултанта ових процеса се огледа у продукцији милиона тона ерозионог материјала, од чега 56% настаје деловањем плувијалне ерозије (Elirehema, 2001). Губитак земљишта који је узрокован процесима ерозије представља значајан проблем, како у свету тако и у Републици Србији, те се намеће неопходност просторне идентификације и квантитативне процене губитака земљишта, што је један од предуслова одрживог управљања виталним ресурсима животне средине. У складу са тим, моделирање представља значајан поступак у циљу добијања кључних информација које су неопходне за разумевање настанка ерозионих процеса и процену губитака земљишта. У литератури постоје различите дефиниције које се односе на термин „моделирање“. Термин *модел* потиче од латинске речи „*modulus*“ што значи мера. Према општој дефиницији, моделирање је поступак израде умањене копије процеса или система (Kukrika, 2000). Моделирање се најчешће дефинише као апстрактан и поједностављен приказ у циљу објашњења или предикције стварног света, феномена, процеса или система. На основу тога, и у зависности од потреба истраживања, као и сврхе моделирања, користе се просторни, просторно-временски и предикциони модели (Dragičević, 2013; Самарџић-Петровић, 2014). Просторни модел јесте поједностављен или парцијални приказ појединачних или више показатеља одређене географске појаве, што се представља у дводимензионалном (2D) или тродимензионалном (3D) приказу. Просторно-временски модел служи за динамички приказ одређене географске појаве у функцији протока времена. Предикциони модел се користи за приказ претпостављених промена, везаних за одређени просторни феномен.

Моделирање као научни метод има велики значај за разумевање процеса и анализу утицаја ендогених и егзогених фактора на генезу, појаву и интензитет ерозионих процеса (De Vente, Poesen, 2005), као и на предвиђање продукције ерозионог материјала (Lafren et al., 1991). Поред овога, моделирање има важну улогу у процени стања појединих параметара животне средине. Резултати примене метода моделирања могу да укажу на квантитативне параметре који су неопходни за дефинисање просторно-инжењерских смерница у виду одговарајућих мера и радова у превенцији ерозије земљишта и бујичних поплава, али и за доношење одлука које спадају у корпус јавних политика (Renschler, Harbor, 2002; Hu, Flanagan, 2013). У просторно и временски динамичним системима, примена методе моделирања омогућава стварање веродостојних закључака о узроцима настанка ерозионих процеса. Савремени процеси урбанизације одвијају се на рачун пољопривредних и шумских површина са израженом просторно-временском динамиком. У таквим околностима примена модела омогућује правовремено коришћење репрезентативних база података и извођење широког спектра аналитичких поступака, што је од великог значаја за спровођење концепта одрживог развоја савремених градова.

Губитак земљишта услед деловања ерозионих процеса представља један од најважнијих показатеља деградације овог драгоценог ресурса на територији Републике Србије, што је препознато у просторно-планским документима и секторским законима. Закон о Просторном плану Републике Србије од 2010. до 2020. године („Сл. Гласник РС”, бр.88/2010-4), препознаје ерозију земљишта као једно од најважнијих ограничења за очување природних вредности и заштиту животне средине. Према Нацрту Просторног плана Републике Србије од 2021. до 2035. године (МГСИ, 2021), ерозија земљишта представља један од најважнијих предуслова за настанак природних ризика (клизишта, одрони, бујичне поплаве). Генерални урбанистички план (ГУП) је документ који се доноси као стратешки развојни план, са општим елементима просторног развоја за насељено место, које је седиште јединице локалне самоуправе са више од 30.000 становника („Сл. Гласник РС”, бр.132/2014 и 145/2014), услед чега је значајно идентификовати просторни обухват уочених ерозионих процеса на предметном подручју. ГУП је дугорочни план, којим се утврђују основне пројекције развоја и просторног уређења града, организација грађења као и заштита урбаног простора. Основни принципи урбанистичког планирања се, између осталог, односе на очување земљишта погодног за пољопривреду, као и заштиту природних вредности и животне средине урбане целине. Предуслов за очување земљишног ресурса јесте континуирано осматрање показатеља који се односе на квалитет и ризик од различитих форми деградације, у складу са важећом законском регулативом (Закон о заштити животне средине „Сл. Гласник РС”, бр.135/2004 и 36/2009, Закон о заштити земљишта „Сл. Гласник РС”, бр. 112/2015-59. и др).

1.2. Циљ рада

Циљ истраживања је утврђивање просторне дистрибуције интензитета ерозионих процеса и продукције ерозионог материјала, на територији која је обухваћена Генералним урбанистичким планом Београда. Један од циљева рада јесте и компарација примењених ерозионих модела, што ће омогућити идентификацију оптималних процедура за процену угрожености простора у урбанизованим подручјима. На основу овога, биће формирана основна геобаза ерозионих процеса, што ће омогућити обједињавање репрезентативних података, обраду и приказ одговарајућих резултата. Геобаза омогућује репрезентативан преглед стања ерозионих процеса, што је први корак у изради планова за проглашење ерозионих подручја и одбрану од бујичних поплава на водотоковима II реда (Закон о водама „Сл. Гласник РС”, бр. 30/2010, 93/2012, 101/2016 и 95/2018). Конгломерат састављен од савремених техника и база података омогућује стварање платформе за анализу сложених хијерархијских система, њихових конститутивних параметара, са широким спектром примене у анализи стања животне средине у контексту текућих и прогнозираних климатских аномалија.

1.3. Основне хипотезе

Према приказаном предмету и проблему истраживања, као и на основу дефинисаних циљева постављене су следеће хипотезе:

1. Примена савремених ерозионих модела омогућује анализу различитих сценарија промена ерозионе продукције у урбаним подручјима.
2. Одређени сегменти урбаних подручја носе повећан степен ризика од појаве ерозионих процеса.
3. Просторна идентификација и квантификација ерозионих процеса може да укаже на осетљиве сегменте урбаних подручја, на којима треба применити специфичне просторно-планске и инжењерске мере.

1.4. Општи метод рада

Приликом израде докторске дисертације, примењен је мултидисциплинарни методолошки приступ који обухвата примену више метода у различитим фазама рада. Са аспекта општих научних метода, примењене су методе анализе и синтезе, индукције и дедукције, моделирање, статистичке и геостатистичке методе. Коришћени су модели за процену интензитета ерозионих процеса, одговарајуће базе података, географски информациони системи, даљинска детекција на мултиспектралним сателитским снимцима, као и симулације климатских показатеља.

У првом поглављу (1. Увод) дефинисан је предмет рада и проблем истраживања, циљ истраживања и полазне хипотезе. У другом поглављу (2. Традиционални и савремени приступ у проблематици ерозије земљишта: преглед и анализа литературе) се указује на теоријске основе и саму проблематику квантификације интензитета ерозионих процеса и деградације земљишног простора. Поред тога, у потпоглављу (2.1. Ерозија земљишта – урбанизована подручја) се указује на ерозију земљишта унутар урбанизованих подручја, кроз приказ репрезентативних референци из научне и стручне литературе. У оквиру потпоглавља (2.2. Ерозија земљишта – просторна и временска размера) приказана је проблематика ерозије земљишта кроз различите просторне и временске размере. У оквиру потпоглавља (2.3. Ерозија земљишта – моделирање) се указује на чињеницу да моделирање природних феномена и просторно-временских процеса представља сложен задатак, чији је циљ да се сублимира сложеност фактора и утицаја који обликују одређене феномене. Процесима моделирања, односно применом различитих модела, процеси, појаве и ентитети се могу открити, класификовати, објаснити, описати и предвиђати (прогноzirати). Да би се неки процеси могли прогноzirати, кључну улогу имају методе симулације, чији се ниво употребљивости перманентно повећава са развојем рачунарске технологије. У оквиру потпоглавља (2.4. Ерозија земљишта - даљинска детекција и ГИС технологија) се анализира приступ у примени даљинске детекције, начин избора сателитских снимака, њихова обрада и анализа као предуслов за утврђивање структуре земљишног покривача.

Поглавље које приказује основни методолошки поступак докторске дисертације (3. Метод рада), садржи образложење за примењене методе даљинске детекције на мултиспектралним сателитским снимцима при инвентаризацији структуре земљишног покривача. Такође, објашњен је и приступ у одабиру ерозионих модела који служе за анализу интензитета ерозионих процеса и продукције ерозионог материјала на истраживаном подручју.

У поглављу које обрађује основне карактеристике истраживаног подручја представљени су репрезентативни показатељи којима се дефинише сложеност природних и антропогено измењених услова (4. Материјал рада - опис релеватних фактора). Оцена тачности и валидација добијених резултата применом даљинске детекције (5. Резултати истраживања) представља један од основних елемената за веродостојну процену губитка земљишта и поређење ерозионих модела за два посматрана временска пресека. За потребе инвентаризације класе земљишног покривача коришћени су сателитски снимци, добијени применом даљинске детекције, у оквиру Landsat сателитских мисија и метода надзирне класификације Random Forest (метод „случајне шуме“) (Breiman, 2001), са комбинацијом спектралних индекса. Random Forest представља један од алгоритама који припадају групи техника машинског учења (енг. *machine learning*), у циљу решавања проблема на основу методе ансамбл учења (енг. *ensemble learning*). Основна јединица у ансамблу чини „стабло одлуке“, а принцип рада је заснован на идеји да више „слабих класификатора“ може да се комбинује у циљу формирања „јаког класификатора“ (Breiman, 2001). Као део улазних параметара за примену методе моделирања анализирани су просторни и квантитативни аспекти падавина и температура ваздуха за два временска пресека. Први пресек представља групу климатских података који су

добијени емпиријски на основу резултата мерења са метеоролошких станица, за период осматрања од 1971. до 2001. године. Други временски пресек представља симулацију промена климатских параметара на основу примене климатских модела, референтних и очекиваних (будућих) периода, као и сценарија емисија гасова стаклене баште (Ђурђевић и сар., 2018). Симулација климатских параметара рађена је на основу референтног (базног) периода (1986-2005), на основу EURO-CORDEX (Jacob et al., 2014) базе података, за средину XXI века (2046-2065). Будући периоди су анализирани према два изабрана RCP (енг. *Representative Concentration Pathways* – меродавна временска динамика промене концентрација) сценарија емисија гасова стаклене баште: RCP4.5 (стабилизациони сценарио, који предвиђа стабилизацију емисија од 2040. године) и RCP8.5 (сценарио константног пораста) (IPCC, 2014). Добијени губици земљишта су приказани у растерској бази од 30 m, за два временска пресека. Први временски пресек односи се на 2001. годину, када почиње важење актуелног ГУП-а Београда. Други временски пресек односи се на 2019. годину, када су завршени теренски истражни радови.

Прикупљање, формирање и обрада базе података, као и просторне геостатистичке анализе изведене су у софтверима ArcGIS Desktop верзија 10.6.1 (ESRI, 2011) и QGIS Desktop верзија 2.18.10 (QGIS Development Team, 2013). Припремна обрада сателитских снимака и класификација земљишног покривача је извршена помоћу софтвера SNAP Desktop верзија 6.0.0 (Louis et al., 2016). Компарација промена земљишног покривача је анализирана применом софтвера The Map Comparison Kit[®] верзија 3.2.3 (Visser, De Nijs, 2006). Статистичка обрада добијених резултата обављена је коришћењем софтвера Statgraphics Centurion XVIII (StatPoint Technologies, Inc, 2019).

2. ТРАДИЦИОНАЛНИ И САВРЕМЕНИ ПРИСТУП У ПРОБЛЕМАТИЦИ ЕРОЗИЈЕ ЗЕМЉИШТА: ПРЕГЛЕД И АНАЛИЗА ЛИТЕРАТУРЕ

Земљиште је необновљив ресурс, осетљив и изложен деградационим процесима, са slabим интензитетом регенерације који у условима Србије износи 0,1 mm годишње (Ristić et al., 2012). Процеси деградације мењају квалитет земљишта, и самим тим утичу на делимично или потпуно нарушавање једне или више функција земљишта (Кадовић и сар., 2016). На основу савремених истраживања, утврђено је да деградација утиче на смањење квалитета функција земљишта, што за последицу има редукацију екосистемских услуга неопходних за одрживи развој урбаних система (Lal, 2010). Различити процеси деградације земљишта, као што су ерозија, губитак плодности, ацидификација, салинизација, смањење садржаја угљеника и збијање (компакција), представљају озбиљан проблем глобалних размера, што је обухваћено и регулативама Европске уније (СЕС, 2006), али и другим међународним конвенцијама (UNEP, 2004; UNCCD, 2015). Деградациони процеси имају негативне последице на продукцију хране, на смањење резерви пијаћих вода, на повећање емисија гасова са ефектом стаклене баште, као и на губитак биодиверзитета (Koch et al., 2013). Деградациони процеси настају на локалном нивоу, али својим даљим просторним развојем представљају претњу на регионалним и глобалним размерама. Негативне последице регионалних и глобалних процеса деградације се огледају и у смањењу потенцијала земљишта за контролу биогеохемијских процеса (кружења угљеника, азота, кисеоника и воде), што угрожава опстанак еколошких система на ширим предеоном размерама.

У циљу решавања проблема деградације земљишта и успостављања одрживих механизма управљања овим ресурсом, Конвенција Уједињених Нација за борбу против дезертификације (UNCCD - The United Nations Convention to Combat Desertification), промовише став да је неопходно укључивање савременог концепта неутралности деградације земљишта (Land Degradation Neutrality – LDN), као једног од циљева одрживог развоја (Sustainable Development Goal – SDG) (UNDP, 2017; UN, 2019). LDN је дефинисан као „стање у којем квалитет и квантитет земљишних ресурса, неопходних за одржавање функција екосистема и обезбеђивање производње хране, треба да остану стабилни (непромењени) или побољшани у оквиру одређених просторних и временских услова“ (UNCCD, 2016, стр. 14). Концепт LDN је уведен у глобални дијалог како би се створио ефикаснији приступ у оквиру активности усмерених против деградације земљишта (МЗЖС, 2019). Суштина овог програма јесте да омогући земљама да одреде главни циљ и идентификују потребне кораке и мере за достизање неутралности деградације земљишта до 2030. године (Ристић и сар., 2020). LDN је усвојен као систем циљева у оквиру SDG 15, а изградња капацитета за достизање LDN је примарни циљ UNCCD-а (UNCCD, 2017). Показатељ деградације земљишта јесте вредност индикатора 15.3.1., у оквиру SDG 15, који се дефинише као проценат деградираниог земљишта у односу на укупну површину земљишног ресурса. LDN се утврђује на основу резултата прорачуна три репрезентативна подиндикатора (структура земљишног покривача, продуктивност земљишта и залихе органског угљеника) (UNDP, 2017).

Ерозија земљишта представља главну глобалну претњу деградацији земљишних и водних ресурса. Ветар и вода представљају главне покретаче деградације, где је највећи фокус дат водној ерозији (Borrelli et al., 2020). Имајући у виду променљиве и непроменљиве групе параметара (временски статични и временски динамични параметри), за настанак ерозионих процеса и њихов интензитет осетљивија су пољопривредна земљишта и деградирани шуме него ливадско-пашњачке површине (Ouyang, Bartholic, 1997; Noori et al., 2016). Бројне студије и пројекти показују да је антропогена активност главни узрочник промена начина коришћења земљишта (De Koning, Veldkamp, Fresco, 1998; Le Bissonnais, Montier et al., 2002; Martinez-Casasnovas, 2003; Pandey, Chowdary, Mal, 2007; Jain, Das, 2010). Поред антропогеног фактора,

значајни су и природни фактори, пре свега литолошки, хидролошки, топографски, климатски и педолошки (Veldkamp, Fresco, 1996; Estrany, Garcia, Walling, 2010).

У Европи је доминантна плувијална ерозија, а у нешто мањој мери еолска ерозија. Водна ерозија је најзаступљенија у јужној Европи, али постаје све већи проблем и у северној Европи (Van Lynden, 1995). Према GLASOD мапи (Global Assessment of Soil Degradation) (Oldeman et al., 1991), која је заснована на колекцији експерименталних података (од 1987. до 1990. године), површина захваћена водном ерозијом у Европи, укључујући и Русију, грубо је процењена на 114 милиона хектара (17% од укупне површине европског копна). Губитак површинског слоја је уочен на 80% површина, док су промене конфигурације терена уочене на 20% површина (Gobin et al., 2004). Европска Унија је у својим документима препознала ерозионе процесе као један од основних фактора деградације земљишта (ЕС, 2006), који наноси материјалну штету од неколико милијарди евра годишње (Panagos et al., 2014a). Европска комисија за тематску стратегију земљишта (The European Commission's Soil Thematic Strategy-ЕС, 2006) предложила је примену модела за праћења стања ерозионих процеса (Panagos et al., 2015a). У том циљу примењен је модел RUSLE2015 у коме се користе квантификовани и верификовани улазни подаци високе резолуције (Panagos et al., 2015a). Применом овог модела је утврђено да просечан губитак земљишта у државама Европске уније износи $2,46 \text{ t ha}^{-1}$ годишње, што доводи до укупног губитка земљишта од 970 Mt на годишњем нивоу (Panagos et al., 2015a). Овај губитак земљишта се односи на пољопривредне, шумске и полу-природне површине.

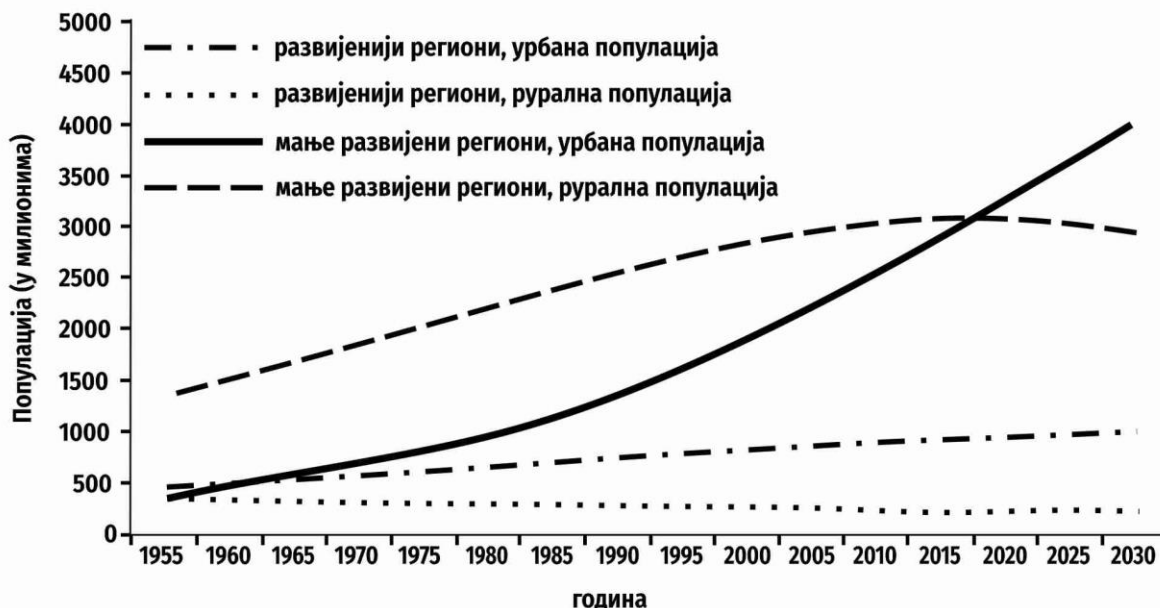
Интензитет ерозионих процеса је углавном повезан са неадекватном обрадом пољопривредног земљишта на подручјима са тропском и семиаридном климом (Nearing et al., 2004; Prasannakumar et al., 2012). Око 450 милиона ha обрадивог земљишта је било непродуктивно до средине 1990-их, а процењује се да се 10 милиона ha обрадивог земљишта губи на годишњем нивоу услед деловања ерозионих процеса (Pimentel, 2006; Shikangalah, 2016). Међутим, ерозија земљишта није присутна само на пољопривредним површинама, већ постаје и феномен везан за урбанизоване површине.

На територији Републике Србије ерозиони процеси делују на 75% од укупне површине (Ристић, Никић, 2007), са просечном годишњом продукцијом ерозионог материјала од 30 милиона m^3 , од чега око 8 милиона m^3 доспева у речна и поточна корита, што је узрок појаве енормних количина блата и камена у поплавленим местима и градовима Србије током маја 2014. године (Ристић и сар., 2016). Ерозиони процеси представљају један од фактора настанка бујичних поплава. У Србији је регистровано око 11.500 бујичних водотокова, углавном јужно од Саве и Дунава, али их има и на простору Војводине (Фрушка гора, Вршачки и Тителски брег) (Ристић и сар., 2016). Велике површине земљишта у Републици Србији су захваћене ерозионим процесима различитог интензитета, што је приказано на Карти ерозије из 1983. године (Lazarević, 1983), која је израђена у периоду од 1966. године до 1971. године. Основу за израду прве Карте ерозије представљала је оригинална верзија Методе Потенцијала ерозије (колоквијално названа „метод проф. Слободана Гавриловића) (Gavrilović, 1972), уз примену модификација које је предложио проф. Раденко Лазаревић (Lazarević, 1983). Према Карти ерозије Србије, утврђено је да ерозиони процеси делују на 86,39% укупне територије са следећом структуром: врло слаба ерозије обухвата 41,19%; слаба ерозија 18,16%; осредња ерозија 12,67%; јака ерозија 13,21%; експесивна ерозија 1,16%.

2.1. Ерозија земљишта - урбанизована подручја

Урбанизација је повезана са развојем цивилизације тако да више од половине светске људске популације сада живи у градовима (Martine, Marshall, 2007). Урбанизација се може дефинисати као концентрисано људско присуство у стамбеном и индустријском окружењу, са повезаним

утицајима на животну средину (Adames, 1976; Ghani, Kanbur, 2013). Три милијарде људи (48% светске популације) живело је у градовима 2004. године (United Nations, 2004). Према новијим прогнозама Уједињених нација претпоставља се да ће до 2050. године 70% светске популације живети у урбаним срединама (United Nations, 2012). Процес урбанизације додатно је убрзан климатским променама. У сушним подручјима повећан је ризик од дезертификације (опустињавање) и ерозије земљишта, што доводи до повећане миграције из руралних у урбана подручја (McLeman, Smit, 2006; Portnov, Paz, 2008). Тренд урбанизације је наглашенији у мање развијеним земљама и очекује се да ће број становника у градовима расти по стопи од 2,3% до 2030. године (Brockherhoff, 2000; United Nations, 2000, 2004; UNFPA, 2004; Chen, 2007) (Слика 2.1).



Слика 2.1. Процена и пројекција урбане и руралне популације у свету у периоду од 1950. до 2030. године (модификовано према United Nation, 2004)

Градска подручја се шире на рачун околних руралних предела (Hammond, 1992; Hugo, 2017). Урбанизација доводи до неких позитивних промена као што су економски раст и побољшање животног стандарда људи (Jin et al., 2004), али доноси и неке негативне утицаје на животну средину: интензивирање ефеката климатских промена (Faulkner, 2004; McDonald, 2008), повећаног обима загађења свих медијума животне средине (Grimm et al., 2008), губитка продуктивности пољопривредног земљишта (Deng et al., 2006; Gardi et al., 2015; Pandey et al., 2015) и погоршања здравственог статуса становништва (Bao, Fang, 2012; Wang et al., 2018). Неадекватан начин коришћења земљишта услед све интензивнијег антропогеног притиска значајно убрзава ерозионе процесе (Cantón et al., 2011). Процењује се да је око 2 милијарде ha укупне површине земљишног простора у свету захваћено ерозионим процесима услед људске активности (Pimentel, Kounang, 1998; Lal, 2001). Повећање броја становника у градовима доводи до раста непорозних површина које су асфалтиране, бетониране или екстремно збијене услед прекомерног оптерећења (Shuster, et al., 2005; Buttner, 2012; Протић, 2013; Shikangalah et al., 2016). Такође, непорозне површине повећавају степен акумулације полутаната и имају негативан ефекат на режим површинских и подземних вода (Scalenghe, Marsan, 2009). Непорозне површине појачавају фреквенцију и интензитет појаве брзог површинског отицаја, генезе великих вода и придружених ерозионих процеса (Merz et al., 2010), што доводи до загушења дренажних канала, канализационих и одводних система, запуњавања водоизворишта и водоакумулација (Gaffield et al., 2003; Shikangalah et al., 2016) и смањења нивоа подземних вода (Shuster et al., 2005; Strahler, 2010). Интензивни ерозиони процеси утичу на повећање емисија гасова са ефектом стаклене баште (Gaiser et al., 2008), одношење

хранљивих материја, као и таложее стерилног ерозионог материјала на обрадивим површинама (Poesen, Hooke, 1997; Kheir, 2008).

Пораст броја становника и рапидна експанзија урбанизованих система су резултирали променама у структури земљишног покривача, трансформацији пољопривредних, као и природних и природи блиских површина у непорозне површине. Урбанизација утиче на губитак 2% пољопривредног земљишта у Европи на сваких 10 година (Kundzewicz, 2008). Процеси модификације урбаних предела су довели до развоја ерозионих процеса различитих категорија, који су у условима измењених климатских параметара постали катализатори појаве бујичних поплава (Kusky, 2010). Урбанизација и ерозија земљишта, заједно са бујичним поплавама негативно делују на просторну расподелу водних и земљишних ресурса (Pribadi et al., 2018). Смањење инфилтрационо-ретенционог капацитета земљишта повећава ризик од појаве интензивних ерозионих процеса и брзог површинског отицаја (Ristić et al., 2001; Szendrene-Koren, Nemeskeri, 2007; Herslund et al., 2015).

Крчење и уништавање шума, смањење пољопривредних површина и процеси урбанизације имају значајне негативне последице на хидролошки режим (Carlson, Arthur, 2000; Arthur-Hartranft et al., 2003). Повећање непропусних површина на сливу доводи до смањења базног отицаја и нивоа подземних вода (Xiao, McPhearson, 2003; Llorens, Domingo, 2007) као и стварања услова за појаву брзог површинског отицаја и бујичних поплава (Corbet et al., 1997; Murdock et al., 2004; Ferreira et al., 2012). Процес урбанизације утиче на повећање вршне ординате хидрограма, смањење времена кашњења и повећање укупне запремине поплавног таласа (Burns et al., 2005; Ferreira et al., 2012). Некадашњи протицаји са повратним периодом од 100 година постали су блиски појавама са повратним периодом од 20 година (Ристић, Малошевић, 2011).

До данас су обављена бројна истраживања (Poesen, Hooke, 1997; Kheir, 2008; Deng et al., 2006; Gardi et al., 2015; Pandey et al., 2015) како би се разјаснили механизми настанка ерозионих процеса и продукције ерозионог материјала у руралним подручјима, за разлику од малог броја истраживања у урбаним условима. Превенција деградације земљишног простора заснива се на идентификацији зона хазарда (зоне ерозионе продукције и формирања површинског отицаја), угрожених зона (зоне испољавања дејства ерозионих процеса и бујичних поплава), као и на примени превентивних радова и мера (Ristić et al., 2011). Недостатак истраживања у урбанизованим подручјима имао је за последицу непостојање интегрисаних база података и критичних рејона, локација и објеката, односно места која представљају могуће изворе ерозионог материјала и површинског отицаја. Главни недостаци истраживања у урбаним условима и изради планских докумената су неразвијена методологија моделирања процеса ерозије земљишта, као и изостанак примене одговарајућих ерозионих модела. Кроз успостављање ових релација биће омогућена просторна и квантитативна симулација и примена различитих сценарија у односу на тренутну или потенцијалну употребу земљишта у конкретним климатским условима, актуелним и будућим.

2.2. Ерозија земљишта - просторна и временска размера

Размера или скала (енг. *scale*) обично се односи на просторну или временску димензију појава или процеса, а скалирање (енг. *scaling*) представља пренос информација између различитих просторних нивоа (Wu et al., 2006). „Скала“ као термин, се односи на карактеристичну дужину или време и може да се користи као квалитативни термин или као квантитативни показатељ у димензијама простора и времена. Просторна димензија ентитета је представљена преко координата (x , y , z – осе), док се временска димензија феномена разликује дуж временске серије (t) (Blöschl, 1999; Renchler, 2003). Скалирање као термин представља трансформацију информација из једне просторне и/или временске скале у другу и има одређени правац и

величину. Да би се описао сам правац промене скале, користе се различите методе попут интерполације и екстраполације или агрегације и раздвајања (Renschler, 2003). Симплификовано, скалирање представља суштину предвиђања и разумевања у различитим теоријама и истраживањима (Wu et al., 2006). Скала обједињује све природне и друштвене науке, тако да су „скала“ и „скалирање“ постали популарни методолошки поступци, од екологије до геофизичких наука (Jetten et al., 1999; Renschler, Harbor, 2002; Saavedra, 2005; Wu et al., 2006).

На ерозију земљишта и настанак ерозионих процеса, утичу разноврсни биофизички и антропогени процеси који се одвијају са различитим интензитетом (Saavedra, 2005). Истраживање интензитета ерозије земљишта и продукције ерозионог материјала кроз правилно разумевање физичких процеса су изузетно важни за разумевање просторне и временске скале (Slattery et al., 2002; Wainwright et al., 2003). Истраживањем у различитим просторно-временским скалама се долази до два кључна циља. Први циљ је идентификација ерозионих подручја и квантитативне процене губитака земљишта. Други циљ представља развој методологије моделирања процеса ерозије земљишта кроз развијање различитих апликативних ерозионих модела. Развијањем ерозионих модела се долази до основних показатеља о ерозији земљишта од значаја за научне, привредне, планерске и политичке сфере.

Приликом анализе статуса ерозионих подручја просторна скала има кључну улогу у почетној фази. Од одабира просторне скале зависи избор модела за прорачун интензитета ерозије земљишта, квалитет и обим доступних података, детерминација структуре површина као и крајњи циљ примене модела. Једна од првих класификација просторних скала, у циљу прорачуна интензитета ерозије земљишта, израђена је у Сједињеним Америчким Државама (Zinn, 1997) и садржи четири категорије:

1. Ниво експерименталне парцеле (падина, огледна парцела, окућница и сл.);
2. Локални ниво (више пољопривредних газдинстава, локална самоуправа, округ);
3. Регионални ниво (сливно подручје, екосистем, држава);
4. Континентални ниво.

Аутор Shikangalah (2016) у свом раду даје детаљан приказ истраживања ерозије земљишта у урбаним подручјима, која је класификовао према различитим просторним и временским размерама. Са аспекта просторне размере, процена интензитета ерозије земљишта у урбаним условима се може обавити на четири нивоа (експериментална парцела, сливно подручје, регионални ниво и „остали“ нивои). Према Shikangalah (2016), експерименталне парцеле имају распон величине од $0,01 \text{ m}^2$ до 10.000 m^2 , ниво сливних подручја обухвата дијапазон од 1 km^2 до неколико стотина km^2 , док регион има површину већу од 100 km^2 . У категорију „остали“ или неклассификовани нивои, Shikangalah сврстава елементе саобраћајне инфраструктуре, приобаља и површине јавних намена (Shikangalah, 2016). Већина научних и стручних радова се баве анализом ерозионих процеса на нивоу сливних површина, стављајући акценат на прорачуне продукције ерозионог материјала, проноса наноса, као и површинског отицаја (Rowntree et al., 1991; Nelson, Booth, 2002; Stroosnijder, 2005; Poletto et al., 2009; Ehiorobo, Audu, 2012; Franz et al., 2014; Shikangalah, 2016). Следе стручне и научне публикације које се односе на категорију „остали“ (Hu et al., 2001; Jimoh, 2005; Zhao et al., 2010; Ehiorobo, Audu, 2012). У мањој мери су заступљена истраживања на нивоу експерименталних парцела у урбаним подручјима (Bazzoffi et al., 1998; Osorio, De Oña, 2006; Greenstein et al., 2014), док је најмање референци за површине на регионалном нивоу (Hu, Zhi-Mao, Jun-Ping, 2001).

Ерозиони процеси имају наглашену просторно-временску димензију. Временска размера обухвата варијације климатских чинилаца у одређеном периоду мерења, као и промене у структури земљишног покривача. Временске серије су често ограничене на просечне

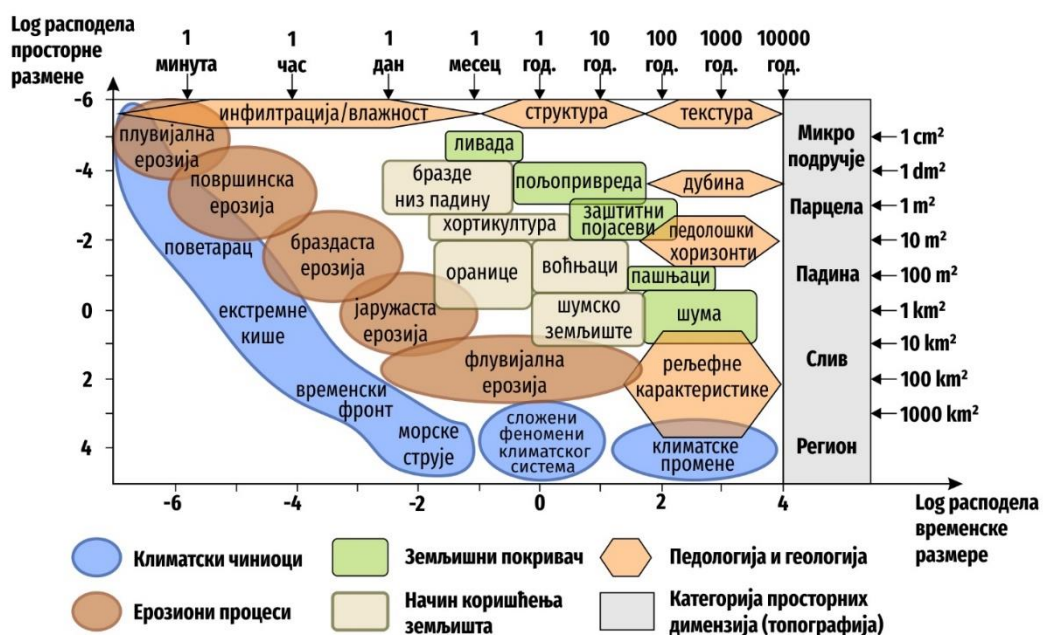
вредности које се добијају реализацијом вишегодишњих мерења, док су ређи подаци који се односе на месечне и дневне серије, као и епизоде (Saavedra, 2005). Зато је веома важно одабрати ерозиони модел који на одговарајући начин кореспондира са просторном и временском размером, у циљу веродостојне процене статуса ерозионог подручја (Veldkamp et al., 2001). Временска размера у ерозионим моделима се обично идентификује термином „временски корак“ (енг. *time-step*) и може да буде приказана на следећим нивоима (Saavedra, 2005):

1. ниво догађаја (временски распон од 1 дана);
2. сезонска размера (временски распон од 1 године);
3. дугорочни ниво (временски распон од 100 година).

Бројна истраживања интензитета ерозионих процеса у урбаним условима су обављена у временском периоду од 2 године (Shikangalah, 2016), знатно ређе у периоду од неколико месеци до годину дана, док је јако мали број студија везан за низове осматрања дуже од 20 година (Balamurugan, Lumpur, 1991; Booth, Henshaw, 2001).

Развој науке и технологије је утицао на појаву сложених и софистикованих ерозионих модела, што је посебно дошло до изражаја применом ГИС-а (Географски Информациони Системи). Употреба геопросторних база података представља основ за примену модела (Mitasova et al., 2013). Један од главних изазова у сфери ових истраживања јесте одређивање оптималне резолуције приликом моделирања ерозионих процеса. Резолуција представља минималну линеарну димензију најмање јединице појаве или процеса о којима се прикупљају подаци (Kukrika, 2000). Најмања и основна градивна јединица простора која је представљена у растерском моделу јесте пиксел (ћелија; енг. *cell-level*). У процесима моделирања ерозије земљишта, резолуција је дефинисана временском резолуцијом (временским корацима и трајањем) и просторном резолуцијом (површином и обимом).

На експерименталним парцелама доминирају процеси браздасте и јаружасте ерозије и њихово прецизно просторно моделирање захтева резолуцију испод 1 метра, док се временска резолуција креће од нивоа минута до нивоа часова. Основни просторни ентитет који је најзаступљенији у стручним и научним радовима јесте сливно подручје, дефинисано топографском вододелницом. Слив се третира као систем унутар кога делују ерозиони процеси, транспортује и акумулира ерозиони материјал и формира отицај (Chow et al., 1988; Steiner, 2008; Ристић, Малошевић, 2011; Радић, 2014). Слив је екосистемска јединица у оквиру које се одвијају различити биолошки, физички, социјални и економски процеси, која има велики значај за управљање природним процесима (Odum, 1953). Mitasova и остали (2013) препоручују просторну резолуцију од 1 до 10 m, у зависности од величине сливног подручја. Према истим ауторима, регионални ниво моделирања захтева просторну резолуцију већу од 1.000 m. Употребом велике просторне резолуције уопштавају се вредности добијених параметара, док се коришћењем мањих резолуција добијају сложени подаци које је тешко тумачити на већој просторној скали (Радић, 2014). На различитим нивоима размере, доминирају различите групе процеса, тако да се ефективни фокус модела такође мења са размером. Доминантни процеси ерозије земљишта, на различитим нивоима (укључујући просторну варијабилност и интеракције релевантних физичких, хемијских и биолошких појава) одвијају се у широком распону размера (Слике 2.2 и 2.3.) (Renschler, Harbor, 2002).



Слика 2.2. Просторна и временска размера климатских, топографских, педолошких, вегетационих и антропогених фактора на појаву ерозионих процеса (модификовано према Renschler, Harbor, 2002)

Чиниоци:	Парцела	Падина	Газдинства	Слив	Регион
Топографија	Микро подручје	Облик падине	Хидрографска мрежа		
Начин коришћења земљишта	Покривеност вегетацијом		Тип вегетације	Намена земљишта	
Земљиште	Текстура земљишта		Литологија и геологија		
	Структура земљишта		Типови земљишта		
Клима	Осматрачка станица		Мрежа метеоролошких станица		
Процеси:					
Интензитет кише	Временска дистрибуција		Просторна дистрибуција		
Водни биланс	Инфилтрација, евапорација, транспирација, перколација				
Отицај	Површинско отицање			Акумулација	
	Отицај низ бразде		Отицај низ корито/канал		
Ерозија	Плувијална	Браздаста	Флувијална ерозија		
	Површинска		Јаружаста	Абразиона ерозија	
Пронос наноса	Површинско спирање		Концентрисан отицај		
	Краткорочни пронос		Дуготрајно таложење		
Подручје истраживања	100 m ²	1 ha	1 km ²	100 km ²	10000 km ²

Слика. 2.3. Просторне и временске променљиве од отицаја на размеру истраживања (модификовано према Renschler, Harbor, 2002)

2.3. Ерозија земљишта - моделирање

Метода моделирања представља један од важних опште научних метода (Šešić, 1974), у коме се користи метод аналогije (Иконовић, 2007). Модел је систем уређених структура и односа аналогних предмету истраживања и представља везу између апстрактно-теоретског мишљења

и објективне стварности (Adamović et al., 2017). Према Миљевићу (2007), метода моделирања је теоријско-емпиријска метода, која у својој основи садржи елементе методе типологизације, апстракције и конкретизације (Miljević, 2007). Процесима моделирања могу се описивати, типологизовати, откривати, објашњавати и прогнозировать процеси и појаве, у чему важну улогу има метод симулације засноване на широкој примени рачунарске технологије.

Ерозионо моделирање се заснива на разумевању физичких закона и процеса који се одвијају у природи. Применом модела природни процеси се описују математичким формулацијама (Harmon, Doe, 2001). Ерозионим моделима се обавља симплификација (упрошћавање) процеса у стварности, чији је један од циљева детерминисање најважнијих фактора и сегмената (Morgan, Quinton, 2001). Један од очекиваних резултата јесте квантификација средње годишње продукције наноса, док неки модели могу да прикажу и продукцију наноса на основу једне кишне епизоде. Други приступ моделирању има за циљ разјашњавање теоријских аспеката деловања ерозионих процеса. Боље разумевање феномена ерозије у протеклих четрдесет година допринело је развоју модела који се заснивају на примени физичких закона и анализи природних процеса. Модели обједињују математичке једначине које описују процесе одвајања честице земљишта, транспорта и одлагања (Haile, Fetten, 2010).

Развој ерозионих модела започео је 1930-их и 1940-их година XX века у циљу развоја концепта заштите пољопривредног земљишта (Zingg, 1940). Прва истраживања су обављена на нивоу парцела са покушајима примене различитих конзервационих мера. Касније су уведени параметри који узимају у обзир структуру земљишног покривача (Smith, 1941; Browning et al., 1947), специфичне начине коришћења земљишта, потенцијалну еродибилност (Musgrave, 1947) и утицај кинетичке енергије кишних капи (Ellison, 1947), што је довело до развоја Универзалне једначине за процену губитака земљишта (енг. *Universal Soil Loss Equation-USLE*) (Wischmeier, Smith, 1965; 1978). Модели се могу поделити на емпиријске, концептуалне и физички засноване моделе (De Vente, Poesen, 2005; De Vente, 2009). Hajjgholizadeh и остали (2018) су предложили и формирање тзв. „хибридних“ модела који обједињују све наведене концепте. Одабир оптималног модела за конкретну намену подразумева разматрање следећих фактора (Hajjgholizadeh et al., 2018):

1. Потребан број улазних параметара,
2. Концептуални оквир применљивости модела,
3. Тачност и валидност модела,
4. Употребљивост и осетљивост модела,
5. Компоненте модела,
6. Могућност оперативне употребе (енг. „*user-friendliness*“),
7. Циљеви модела,
8. Распон излазних резултата,
9. Хардверски захтеви за примену модела.

Емпиријски модели представљају симулацију природних процеса, углавном заснованих на експерименталним истраживањима и мерењима и каснијом статистичком обрадом добијених резултата. Емпиријски модели су једноставни јер захтевају мали број улазних параметара, али је применљивост њихових резултата ограничена на подручја у којима су развијени. Емпиријски модели могу се користити од просторног нивоа слива, преко локалне самоуправе, региона, државе, до континента, у циљу прорачуна ерозионе продукције и проноса наноса (Prosser et al., 2001). У табели 2.1. дати су најчешће коришћени емпиријски модели, са основним карактеристикама.

Табела 2.1. Основне карактеристике емпиријских модела

Име модела	Акроним	Просторна размера	Временска размера	Захтев за подацима	Излазни резултат	Референца
Pacific Southwest Interagency Agency Committee	PSIAC	Слив, парцела	Годишња	Висок	Производња наноса	PSIAC, 1968
Universal Soil Loss Equation	USLE	Падина	Годишња	Висок	Ерозија, Производња наноса	Wischmeier, Smith, 1978
Soil Loss Estimation Model for Southern Africa	SLEMSA	Слив	Годишња	Висок	Површинска ерозија	Stocking, 1981
Revised Universal Soil Loss Equation	RUSLE	Слив, парцела, регион	Годишња	Висок	Ерозија, Производња наноса	Renard et al., 1991, 1994
Метод Потенцијала ерозије	МПЕ/ EPM	Слив, парцела, регион	Годишња	Висок	Ерозија, Производња наноса	Gavrilović, 1972
Sediment Delivery Distributed	SEDD	Падина, Слив	Годишња, Кишна епозода	Висок	Ерозија, Производња наноса	Ferro, Porto, 2000
Geoland2	G2	Падина, Слив	Годишња	Висок	Ерозија, Производња наноса	Karydas et al., 2012
Tillage-Controlled Runoff Pattern model	TCRP	Парцела	Годишња, Кишна епозода	Низак	Јаружаста ерозија	Takken et al., 2001
Modular Soil Erosion System project	MOSES	Падина	Годишња	Висок	Отицај, Производња наноса	Meyer et al., 1997
BQART	BQART	Глобални/ регионални	Годишња	Висок	Отицај, Ерозија, Производња наноса	Syvitski et al., 2007

Концептуални модели су у основи комбинација емпиријских и физички заснованих модела и примењују се за добијање „одговора на општа питања“ (Corland, 2003). Развијени су на основу једначина континуитета за протицај воде и пронос наноса (Lal et al., 1994). У концептуалном моделу слив се посматра као затворен систем за „складиштење“ материје, који обједињује процесе отицаја воде и транспорта наноса. Вредности појединих параметара који се користе у концептуалним моделима се добијају калибрацијом у односу на мерене податке (Abbott et al., 1986). У табели 2.2. су приказани најкоришћенији модели на глобалном нивоу са основним карактеристикама.

Табела 2.2. Основне карактеристике концептуалних модела

Име модела	Акроним	Просторна размера	Временска размера	Захтев за подацима	Изразни резултат	Референца
TOPography based hydrological MODEL	TOPMODEL	Падина	Дневна	Средњи	Производња наноса и отицај	Beven et al., 1979
Hydrologic Simulation Program, Fortran	HSPF	Слив	Дневна	Висок	Производња наноса, отицај, поплавни талас, губитак хранљивих материја	Johanson et al., 1980.
Erosion- Productivity Impact Calculator	EPIC	Парцела	Дневна	Висок	Производња наноса, губитак хранљивих материја	Williams et al., 1984.
Agricultural Non-Point Source pollution model	AGNPS	Слив	Дневна	Висок	Ерозија, производња наноса, површински отицај, концентрација штетних микроелемената	Young et al., 1989.
Soil and Water Assessment Tool	SWAT	Слив	Дневна	Средњи	Ерозија, производња наноса, отицај, губитак хранљивих материја	Arnold et al., 1993.
Simulator for Water Resources in Rural Basins	SWRRB	Слив	Дневна	Висок	Производња наноса, отицај, губитак хранљивих материја и концентрација штетних микроелемената	USEPA, 1994.
Agricultural Catchment Research Unit	ACRU	Слив	Дневна	Низак	Ерозија, производња наноса, површински отицај	Schulze, 1995.
Agricultural Non-Point Source pollution model, modified	AGNPS-UM	Слив	Дневна	Висок	Прорачун проноса суспендованог наноса, површински отицај, губитак хранљивих материја	Kinnell, 2000.
European SEDiment NETwork	SEDNET	Слив	Годишња	Средњи	Прорачун проноса суспендованог наноса, површински отицај	Prosser et al., 2001.
Large Scale Catchment Model	LASCAM	Слив	Дневна	Висок	Производња наноса, отицај	Viney et al., 1999

Физички засновани модели се ослањају на закон о одржање масе, једначину момента и енергије, у циљу добијања крајњих продуката: отицаја, продукције ерозионог материјала и проноса наноса на неком сливу (Bennett, 1974; Kandel, et al., 2004). Математички изрази који описују поједине процесе у физички заснованим моделима развијени су на основу великог броја мерења, и каснијих теоријских анализа (Pandey et al, 2016). Физички засновани модели захтевају велики број улазних параметара (Wheater et al., 1993; Pandey et al., 2016), због чега је њихова примена на одређеном подручју условљена анализом локалних услова (Beck, 1987; Wheeler et al., 1993). Треба имати на уму да зависности добијене на основу мерења на малим просторним ентитетима (парцеле) често нису примењиве на већим просторним размерама (Seyfried, Wilcox, 1995). ANSWERS и CREAMS су међу првим коришћеним физички заснованим моделима, док су касније развијени и остали модели (табела 2.3.):

Табела 2.3. Основне карактеристике физички заснованих модела

Име модела	Модел	Просторна размера	Временска размера	Захтев за подацима	Изразни резултат	Референца
Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation	ANSWERS	Слив	Кишна епизода	Висок	Продукција наноса, отицај, губитак хранљивих материја	Beasley, et al., 1980.
Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems	CREAMS	Експериментално поље/ парцела	Месечна	Висок	Ерозија, продукција и акумулација наноса	Knisel, 1980
Kinematic Runoff and Erosion Model	KINEROS	Падина/ слив	Кишна епизода	Висок	Ерозија, продукција наноса површински отицај	Woolhiser et al., 1990
Watershed Erosion Prediction Project	WEPP	Падина/ слив	Дневна	Висок	Ерозија, продукција наноса површински отицај	Lafren et al., 1991.
Limburg Soil Erosion Model	LISEM	Слив	Кишна епизода	Висок	Продукција наноса и површински отицај	De Roo et al., 1996.
European Soil Erosion Model	EUROSEM	Слив	Кишна епизода	Висок	Ерозија, продукција наноса и површински отицај	Morgan et al., 1998.
European Distributed Basin Flow and Transport Modelling System	SHETRAN	Експериментално поље/ слив	Кишна епизода	Висок	Ерозија, продукција и акумулација наноса, транспорт штетних микро елемената	Bathurst et al., 1996.
Water and Tillage Erosion Model	WATEM	Експериментално поље	Годишња	Низак	Ерозија, продукција, транспорт и акумулација наноса	Van Oost et al., 2000

Име модела	Модел	Просторна размера	Временска размера	Захтев за подацима	Издазни резултат	Референца
Pan-European Soil Erosion Risk Assessment model	PESERA	Регион	Годишња	Средњи	Ерозија, продукција наноса	Kirkby et al., 2000

Хибридни модели представљају синтезу раније наведених облика модела за процену интензитета ерозије земљишта (Valentin, 2018). Структура хибридних модела према својом основној логици припада групи физичких и/или концептуалних модела, док је сама компонента модела у просторним и временским размерама заснована на статистичким анализама и ослања се на развијене регресије. Поред процене губитака земљишта хибридни модели се користе и за симулацију и процену оптималних стратегија управљања и конзервације земљишта (Најіgholizadeh et al., 2018). У табели 2.4. приказани су најчешће коришћени хибридни модели са њиховим основним карактеристикама.

Табела 2.4. Основне карактеристике хибридних модела

Име модела	Модел	Просторна размера	Временска размера	Захтев за подацима	Издазни резултат	Референца
Modified Morgan, Morgan and Finney	MMMF	Падина	Годишња	Висок	Ерозија, Продукција и пронос наноса, површински отицај	Morgan et al., 1984.
Thornes model	THORNES	Падина/ Слив	Кишна епизода	Средњи	Ерозија, отицај	Thornes, 1985
Networked Storm Water Quality Model	AQUALM	Слив	Дневна	Средњи	Пронос суспендованог наноса, отицај и транспорт штетних микроелемената	XP-SOFTWARE, 1999
Unit Stream Power-based Erosion Deposition	USPED	Падина	Годишња/ Кишна епизода	Средњи	Ерозија	Mitasova et al., 1996.
Sediment river network mode	SEDNET	Регион/ Слив	Годишња	Висок	Продукција и пронос наноса, отицај и губитак хранљивих материја	NLWRA, 2001.
Erosion Assessment Tool of MIKE BASIN & MILW	SEAGIS	Слив	Годишња	Висок	Ерозија и продукција наноса	DHI, 2003.
Automated Geospatial Watershed Assessment	AGWA	Слив	Дневна/ Месечна	Висок	Ерозија, продукција наноса, површински отицај и губитак хранљивих материја	Burns et al., 2004.

* * *

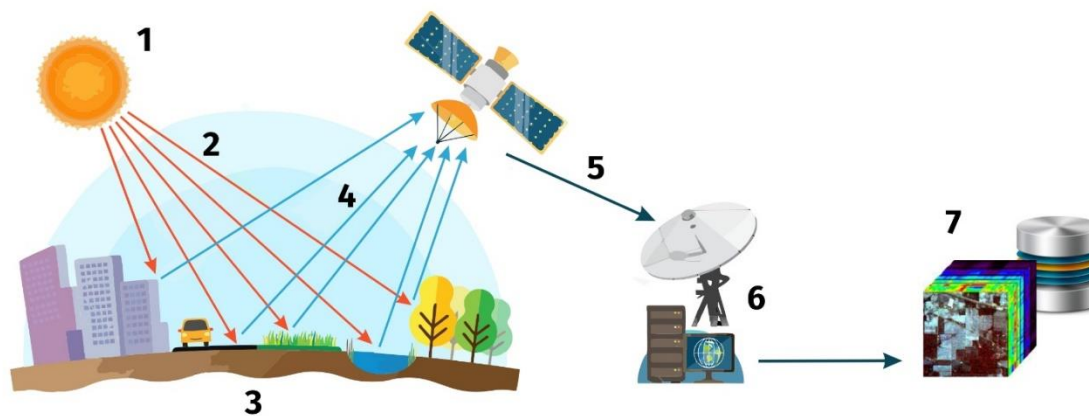
На основу свега наведеног, може се закључити да је примена модела прихватљива уколико испуњава постављене циљеве који су и били мотив за израду модела. Међутим, примена метода моделирања има своје предности и недостатке. Пре свега, методе моделирања имају одређен степен неизвесности који је у спречи са квалитетом коришћених улазних података неопходних за примену одређеног модела. Са друге стране, моделирање има широку примену у прорачуну ерозионе продукције под утицајем климатских промена или услед промене намена коришћења земљишта. Физички засновани модели су прикладнији за примену на нивоу сливних подручја, док их је на регионалном нивоу тешко примењивати јер обично захтевају велики број хетерогених улазних података.

Основни циљ истраживања јесте процена интензитета ерозије земљишта на основу примене различитих ерозионих модела, уз уважавање чињенице да је нужна провера веродостојности добијених резултата (Saavedra, 2005). Имајући у виду факторе и критеријуме који утичу на избор модела (Најигхлизадех ет ал., 2018), за потребе израде ове дисертације одабрани су следећи модели: Метод Потенцијала ерозије (МПЕ), RUSLE и G2. Наведени модели захтевају релативно мали број улазних података, тестирани су у различитим условима, могу се примењивати у ГИС окружењу и усклађени су са репрезентативним геопросторним базама података, на различитим просторним и временским размерама. Сва три модела се могу користити од нивоа парцеле, преко нивоа слива и локалне самоуправе, до нивоа региона, државе и континента, у циљу прорачуна ерозионе продукције.

2.4. Ерозија земљишта - даљинска детекција и ГИС технологија

Даљинска детекција (енг. *remote sensing*) представља научну област и технику прикупљања информација о удаљеним објектима (најчешће се говори о Земљиној површини) кроз анализу података који се сакупљају помоћу прилагођених летелица (сателит, авион), опремљених специјалним камерама или сензорима (Tempfli et al., 2009; Lillesand et al., 2015). Даљинска детекција или даљинско узорковање, представља посебан тип геопросторне технологије којом се сакупљају подаци путем бележења рефлектоване или емитоване енергије (електромагнетно зрачење, акустично итд.), из копнених, атмосферских или водених екосистема, у циљу детекције и праћења физичких процеса. Процес даљинске детекције у већем делу укључује интеракцију између зрачења и циљева који су од интереса. Елементи који су неопходни за извођење даљинске детекције су (Canada Centre for Remote Sensing, 2007) (Слика 2.4):

1. Извор енергије или осветљеност - објекти морају да обезбеђују довољну количину електромагнетне енергије;
2. Зрачење и утицај атмосфере - енергија која путује од свог извора (сензора) до објекта или од објекта до сензора има интеракцију са атмосфером;
3. Интеракција са објектом - енергија која дође до објекта кроз атмосферу и која реагује на њега у зависности од својства и зрачења објекта (апсорпција, пропуштање и рефлектовање);
4. Снимање енергије применом сензора - прикупљање електромагнетног зрачења које емитује или рефлектује објекат;
5. Пренос, пријем и процесуирање сигнала - енергија која је снимљена сензором мора да се пренесе у електронском облику до станице за обраду, где се помоћу добијених података генерише одговарајућа слика;
6. Интерпретација и анализа - прикупљене слике се обрађују, визуелно или рачунарским путем у циљу добијања информација о објекту;
7. Примена - коришћење добијених информација о објекту за боље разумевање његове природе, откривање нових информација или за помоћ при решавању одређених проблема.



Слика 2.4. Елементи и принципи примене даљинске детекције (модификовано према Canada Centre for Remote Sensing, 2007)

Методологија прикупљања података се заснива на коришћењу сензора који региструју сигнале из правца посматраног објекта или феномена, касније забележене у аналогном или дигиталном облику (Tempfli et al., 2009). Постоје активне и пасивне методе даљинске детекције у зависности од типа коришћеног сензора. Активно даљинско узорковање функционише на принципу слања сигнала и „чекања“ на његов повратак до сензора. Типични примери активног узорковања су системи који користе радио таласе (RADAR), звучне таласе (сонар) и усмерене светлосне таласе (ласер) (LIDAR). Ови системи мере временско кашњење између емисије и повратка како би утврдили локацију, смер и брзину објекта. Активно узорковање има велику примену због све веће потребе за подацима који су доступни у реалном времену. Пасивно узорковање функционише на принципу коришћења спољашњег утицаја, на пример Сунчеве светлости која осветљава Земљину површину приликом снимања за потребе касније израде аерофото снимака коришћењем камера на авионима или сателитима (Campbell, Shin, 2011). Пасивно узорковање се користи најчешће током дана када је присутно Сунчево зрачење.

Почетак употребе даљинске детекције везан је за коришћење фотографских снимака из авиона, почетком XX века, док је убрзани развој забележен после лансирања првих сателита опремљених специјалним сензорима, седамдесетих година XX века. Уређаји и сензори се разликују у зависности од њихових основних карактеристика, пре свега, спектралне, просторне, временске и радиометријске резолуције (Levin, 1999; Campbell, Shin, 2011). Спектрална резолуција представља способност сензора да бележи различите интервале таласних дужина електромагнетног спектра (Canada Centre for Remote Sensing, 2007). Просторна резолуција представља најмању јединицу површине која се на снимку може идентификовати, односно просторне обрасце који се могу уочити на слици. Вредности просторне резолуције за сателите се могу кретати у распону од 1 km по пикселу, до резолуције од свега 0,5 m. Просторне резолуције за снимке добијене помоћу беспилотних летелица крећу се у распону од неколико центиметра до 1m по пикселу (<https://eos.com/blog/high-resolution-images-are-close-as-never-before/>). Временска резолуција у погледу сателитских снимака представља време које протекне између два снимања истог терена или објекта. Временска резолуције се исказује као интервал, односно број дана који протекне између два узастопна снимања истог подручја (Campbell, Shin, 2011). Радиометријска резолуција представља стварни садржај снимка, односно број нијанси у једном каналу. Радиометријска резолуција дефинише могућност уочавања веома малих разлика у емисији електромагнетне енергије, што зависи од осетљивости сензора на варијације интензитета (осветљености) (Canada Centre for Remote Sensing, 2007): што је већа радиометријска резолуција сензора, он је осетљивији у детектовању малих разлика рефлектоване или емитоване енергије (Levin, 1999).

2.4.1. Примена даљинске детекције

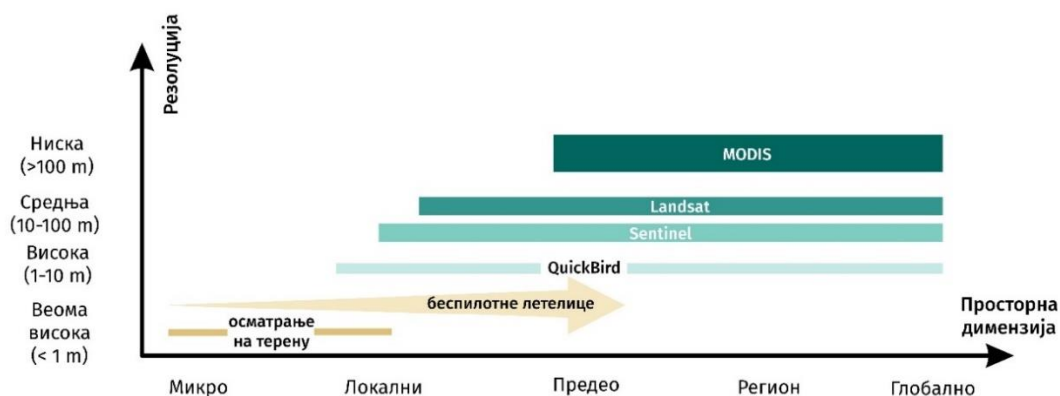
Примена сателитских снимака у многим областима науке, друштвених и привредних активности пружила је мотивациону снагу да се до данас развију различите врсте платформи и сензори, од дигиталних фотоапарата високих резолуција, до мултиспектралних, хиперспектралних и термичких система за обраду слике, радарских и ласерских система (Lillesand et al., 2015). Аутори Khorram и остали (2016) приказују примену даљинске детекције у четири основне групе: терестрична примена, атмосферска примена, примена у приобалним и океанским екосистемима, примена у планетарним и екстрасоларним посматрањима. С обзиром на обим и ширину примене даљинске детекције, поједини аутори (Levin, 1999; Lillesand et al., 2015) наводе неке од главних области примене даљинске детекције:

- Земљишни покривач и начин коришћења земљишта: управљање природним ресурсима, заштита природних станишта, анализа процеса урбанизације, парцелација земљишног простора, идентификација непорозних и порозних површина итд.;
- Пољопривреда: класификација пољопривредних култура, процена стања и приноса усева, мапирање и праћење ефеката различитих техника обраде у пољопривреди, итд.;
- Шумарство: Класификација и инвентура шума, процена стања, процена виталности и продукције биомасе, мониторинг и праћење здравственог стања шума, идентификација деградираних подручја, итд.;
- Педолошке и геолошке дисциплине: Идентификација и мапирање педолошког и геолошког слоја, мапирање минералних и експлоатационих сировина, мапирање гео-хазарда, итд.;
- Заштита животне средине: идентификација емисије опасних материја, детекција дивљих депонија, јаловишта; процес праћења цветања штетних алги (мониторинг природних и вештачких процеса „старења“ језера);
- Процена природних непогода: идентификација, мониторинг и реаговање на природне непогоде (пожари, поплаве, ерозија, клизишта и одрони, атмосферске непогоде, вулканске ерупције, земљотреси, цунами, утицаји климатских промена).
- Хидрологија: мапирање акватичних екосистема, мапирање и мониторинг мочвара, снежних маса, леда и глечера; идентификација плавних зона; засипање акумулација наносом;
- Морски лед: детекција и праћење санти, концентрација леда; детерминација безбедних пловних рута за бродове, итд.;
- Картографија: планиметрија, израда дигиталних модела терена, топографска снимања.;
- Мониторинг океана и обала: процена фонда ихтиофауне, мониторинг и идентификација нафтних мрља, мапирање плиме и осеке, итд.;
- Диверзитет и екологија фауне: идентификација и бројност дивљачи, праћење и мониторинг, идентификација станишта за њихову интродукцију, итд.;
- Археологија: Идентификација и мапирање археолошких локалитета и подручја.

Према наведеном, даљинска детекција постаје једна од неопходних метода у изради подлога и база података за даља истраживања у различитим областима.

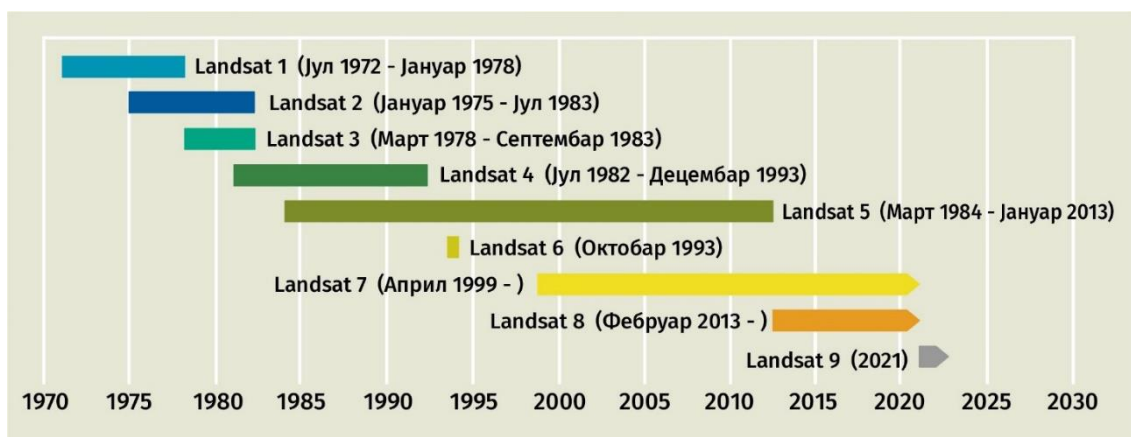
2.4.2. Избор сателитских снимака за моделирање структуре земљишног покривача и ерозије земљишта

У зависности од циљева истраживања, финансијских могућности и карактеристика самих сензора, користе се сателитски снимци државних и приватних институција и компанија, чији су резултати снимања доступни без наплате или имају комерцијални карактер. База података о земљишном покривачу, која је добијена на основу сателитских снимака, има кључну улогу у глобалним, регионалним, националним и субнационалним проценама стања и промена у структури земљишног покривача. Потреба за моделирањем и идентификацијом структуре земљишног покривача на основу сателитских снимака, зависи од потреба корисника, циља и обима истраживања, као и захтева условљених просторном и временском резолуцијом сателитског снимка (Слика 2.5). Националне и међународне агенције развиле су више метода картирања и система за класификацију земљишног покривача, у зависности од расположивих просторних и временских резолуција. Једна од база података са малом просторном резолуцијом јесте GLC2000 (Global Land Cover 2000 Project), која је генерисана на основу AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) сателитских снимака, са просторном резолуцијом од 1 km (Bartholome, Belward, 2005). Следи база MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), са резолуцијом од 500 m (Friedl et al., 2002, 2010) и база GlobCover, са резолуцијом од 300 m (MERIS-Medium Resolution Imaging Spectrometer) (Arino et al., 2008). Међутим, детаљније промене структуре земљишног покривача је тешко детектовати на основу сателитских снимака који имају ниску просторну резолуцију због хетерогености предела и недостатка „чистих“, репрезентативних пиксела у сателитском снимку (Jia et al., 2009). Сателити средње просторне резолуције (Landsat, Sentinel, ASTER, SPOT), са резолуцијом у распону од 10 до 90 m, нуде више могућности за класификацију структуре земљишног покривача и детекцију промена (Ju, Masek, 2016; Lara et al., 2018). Сателитски снимци програма Sentinel и Landsat су посебно погодни за моделирање структуре земљишног покривача, јер су доступни без накнаде и имају глобалну покривеност снимака, као и раширену примену на локалном и регионалном нивоу. Услед брзог побољшања перформанси компјутерске технике, анализе глобалних размера са релативно високим резолуцијама су све доступније и једноставније за употребу (Gorelick et al., 2017). Сателити који дају снимке високе просторне резолуције, од 1 m до 10 m (нпр. WorldView, IKONOS, QuickBird), могу да се користе на локалном, регионалном и глобалном нивоу. Снимци на микро подручјима са веома високом резолуцијом слике (од неколико центиметара) и са периодом снимања од 1 до 2 дана, могу се добити коришћењем беспилотних летелица.



Слика 2.5. Одабир сателита и података даљинске детекције на основу просторне димензије истраживања и просторне резолуције (модификовано према Riihimäki et al., 2019)

Најчешће коришћени сателити за потребе истраживања и моделирања, како структуре земљишног покривача, тако и ерозије земљишта, су сателитски снимци средње просторне резолуције (Vrieling, 2006; Luleva et al., 2012; Sepuru, Dube, 2017). Широку примену имају сателитски снимци програма Landsat, који је настао у сарадњи NASA (National Aeronautics and Space Administration) и USGS (United States Geological Survey), на основу чега је створена најкомплекснија база података сателитских снимака, са непрекидним низом снимања од скоро пола века (Слика 2.6). Први Landsat сателит је лансиран 1972. године, а до данас је лансирано девет сателита, од којих је један био неуспешан (Landsat 6). Сателити Landsat 1, 2 и 3 припадају првој групи сателита који су били опремљени MSS (Multispectral Scanner System), односно, сензорима који садрже четири спектрална канала, са просторном резолуцијом од 80 m. Сателити Landsat 4 и 5 користили су TM (Thematic Mapper) сензоре, у садејству са 7 спектралних канала просторне резолуције 30 и 120 m. Актуелна Landsat мисија 7 је опремљена ETM+ (Enhanced Thematic Mapper plus) сензором, који је сличан претходним уз додатак панхроматског канала, просторне резолуције од 15 m. Сателит Landsat 8 носи две врсте сензора: OLI (Operational Land Imager) и TIRS (The Thermal Infrared Sensor). Према функцијама, OLI сензор је доста сличан свом претходнику ETM+, док TIRS сензор има значајне разлике у односу на своје претходнике. Оба сензора имају 11 спектралних канала са просторном резолуцијом: од 15 m (панхроматски канал); 30 m (8 канала); 100 m (2 канала).



Слика 2.6. Временска линија различитих Landsat сателита (модификовано према Young et al., 2017).

Према приказаним карактеристика, између појединих сателита су уочљиве разлике. Сателити прве групе (Landsat 1, 2 и 3) се не поклапају са „сценама“ сателита друге и треће групе због просторних, спектралних и временских карактеристика. Сателити друге групе (Landsat 4, 5 и 7) су међусобно слични, док се Landsat 8 разликује у односу на сателите из прве две групе. Ипак, могуће је издвојити неколико идентичних спектралних канала који омогућују поређење добијених информација (снимака) (Lillesand et al., 2015). Веродостојна анализа временских серија заснива се на коришћењу снимака Landsat 5, 7 и 8 у циљу праћења промена у структури земљишног покривача (Zhu et al., 2016; Trifunov, 2019; Alam et al., 2019), као и моделирања процеса ерозије земљишта (Magliulo et al., 2020; Ayalew et al., 2020).

2.4.3. Анализа и обрада сателитских снимака

У контексту савремене технологије, где се већина података добија даљинском детекцијом и бележи у дигиталном формату, касније се примењују анализе и интерпретације резултата којима претходе и неки додатни елементи дигиталне обраде, као што су: форматирање и корекција података; унапређење визуелне интерпретације; аутоматизована класификација циљева и функција коришћењем рачунара. Све претходно наведено захтева доступност података у одговарајућем дигиталном облику. Квалитет дигиталне обраде зависи од хардверског квалитета и коришћеног софтвера. Обрада и анализа дигиталних снимака се

заснивају на примени низа математичких операција, функција и алгоритама, који се могу класификовати у следеће категорије (Gulch, 1991; Levin, 1999; Canada Centre for Remote Sensing, 2007; Милановић, Љешевић, 2009; Јовановић, 2015; Khorram et al., 2016; Dobrota, 2018):

1. Предпроцесирање снимка (енг. *Image Preprocessing*),
2. Побољшање снимка (енг. *Image Enhancement*),
3. Трансформација снимка (енг. *Image Transformation*),
4. Класификација и анализа снимка (енг. *Image Classification and Analysis*).

Предпроцесирање снимка се састоји од низа операција и функција које је потребно применити пре главне анализе и обраде сателитских снимака. Обично су груписане као геометријска, атмосферска и радиометријска корекција. Геометријске корекције су неопходне због грешака сензора, ротације Земље и њене закривљености, орбиталне геометрије сателита и сл. Атмосферска корекција се примењује како би се смањио ефекат атмосферског расипања сигнала, да би се могли поредити снимци из различитих сензора и временских серија. Радиометријске корекције могу бити неопходне због варијација у осветљењу сцене и геометрије погледа, атмосферских услова, карактеристика сензора и утицаја шума.

Побољшање снимка представља групу техника и операција које се користе за приказ снимка, визуелну интерпретацију и анализу. Побољшање визуелне интерпретације изводи се кроз повећање контраста и оштрине ивица, уклањање шума и коришћењем просторних карактеристика, применом додатних операција (ивично побољшање, просторно филтрирање, увијање, конвулација итд.), и мултиспектралне анализе. Мултиспектрална анализа се заснива на упоређивању спектралних односа на снимку, односно, на компензацијама нијанси одређених боја како би се установиле тешко приметне спектралне варијације.

Трансформација снимка представља комбиновано процесуирање података из више спектралних канала и примењује се након фазе предпроцесуирања снимка. Да би се обавила трансформација снимка примењују се аритметичке операције које омогућују промене или комбиновање оригиналих спектралних канала у нове снимке, чиме се јасно детерминишу одређене карактеристике на снимку. Неке од техника које се користе у овој фази су одређивање спектралног распона или распона канала (енг. *spectral or band ratioing*), затим детерминација спектралног индекса (вегетациони индекси, индекси вештачких и водених површина, индекси суше и др.), или одређивање биофизичких параметара. Разлике и распон спектралних канала првенствено се користе за детекцију промена или наглашавање карактеристика. Најчешће коришћени спектрални односи су однос инфрацрвеног и црвеног спектра за детекцију вегетације, однос зеленог и црвеног за инвентаризацију површинских вода и мочвара, однос краткоталасног инфрацрвеног и инфрацрвеног којим се идентификују непропусне површине, итд. (Khorram et al., 2016). Спектрални индекси имају велику примену у инвентаризацији и описивању структуре земљишног покривача: вегетације, воде, земљишта и вештачких површина (Протић, 2013). Одређивање биофизичких параметара односи се на квантитативно моделирање у циљу добијање информација о физичким и хемијским особинама одређених појава на површини Земље. Најчешће коришћени биофизички параметри су површина зеленог лишћа (енг. *leaf area index*, LAI), фракција апсорбованог фотосинтетички активног зрачења (енг. *fraction of absorbed photosynthetic active radiation*, fAPAR), фракциони вегетациони покривач (енг. *fractional vegetation cover*, FVC) и др.

Класификација снимка је кључан корак у примени даљинске детекције, јер обухвата екстракцију есенцијалних информација из мултидимензионалних скупова података које би иначе било тешко протумачити. Применом класификације, сателитски снимак може лакше да се интегрише са осталим скуповима просторних података у ГИС-у ради даље анализе,

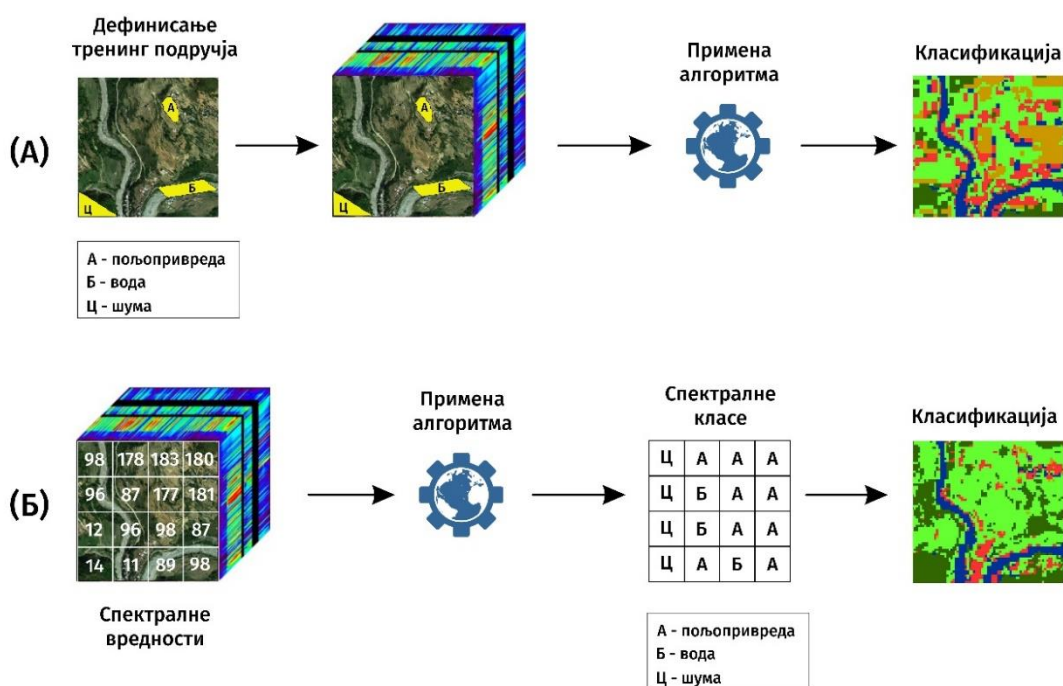
интерпретације и компарације са другим типовима података. Класификација снимка користи спектралне информације представљене дигиталним бројевима у различитим спектралним распонима, у циљу категоризације сваког пиксела на снимку у одређене класе или теме. Класе у даљинској детекцији могу да буду спектралне класе и класе информација. Спектралне класе представљају скуп пиксела чије су вредности међусобно сличне или униформне у односу на своју осветљеност у датом спектру. Основни задатак класификације снимка је да се успостави кореспонденција између спектралних класа и класа информација од интереса. Унутар једне спектралне класе (интегрални снимак подручја) могуће је издвојити више информационих класа (шуме, ливаде, водене површине). Такође, пиксели унутар исте спектралне вредности припадају различитим информационим класама.

Поступци класификације могу да се поделе на две групе на основу коришћених метода (Слика 2.7) (Tempfli et al., 2009; Lillesand et al., 2015; Khorram et al., 2016):

1. Надзиране класификација (енг. *supervised classification*)
2. Ненадзиране класификација (енг. *unsupervised classification*)

Надзирана класификација зависи од аналитичара који има задатак да идентификује и дефинише скуп пиксела који припадају једној класи. Ова подручја се називају тренинг подручја која ће се користити при класификацији целокупног снимка. Применом аналитичких процеса врши се упоређивање сваког пиксела на снимку са дефинисаним „тренинг“ подручјима, ради дистрибуције сваког пиксела у одговарајућу класу.

За разлику од надзиране класификације, ненадзирана класификација не зависи од аналитичара. Код ненадзиране класификације примењује се процес кластеризације на такав начин да се пиксели групишу како би њихове спектралне вредности испуниле неке од критеријума хомогености. Након процеса кластеризације, аналитичар има задатак да одлучи којој класи у одабраној шеми класификације припада сваки кластер.



Слика 2.7. Методе надзиране (А) и ненадзиране (Б) класификације

2.4.4. Методе класификације структуре земљишног покривача

Савремене методе класификације структуре земљишног покривача називају се класификатори и развијене су на основу примене нумеричког приступа у одговарајуће софтвере, чиме се препознају просторни обрасци (Steiner, 1970). Ове методе могу да припадају групама параметарске и непараметарске класификације. Параметарски класификатори су повезани са теоријама вероватноће јер се њихови принципи класификације заснивају на нормалној расподели нумеричких атрибута слике или снимка (Kirchhof et al., 1980; Lu, Weng, 2007). Примена параметарских класификатора је стекла велику популарност кроз методе класификације максималне изгледности (енг. *Maximum Likelihood Classifier*) и класификације на основу минималне удаљености (енг. *Minimum Distance Classifier*) (Hardin, 2000). Обе методе користе принцип груписања пиксела исте вредности применом расподеле вероватноће. Неки непараметарски класификатори, као што је алгоритам „најближи сусед“ (енг. *nearest neighbor - NN*), не зависе од расподеле нумеричких атрибута слике, него од детерминистичког алгоритма (Reinhold, Wolff, 1970; Thompson, Mikhail, 1976). Напредовање техника и метода препознавања образаца уз примену вештачке интелигенције (енг. *artificial intelligence*) и машинског учења (енг. *machine learning*) резултирало је значајним развојем новије генерације непараметарских класификатора као што су векторски подржане машине (енг. *support vector machine – SVM*), вештачке неуронске мреже (енг. *artificial neural network – ANN*) или стабла одлучивања (енг. *decision tree*) (Huang et al., 2000).

До данас је развијено више различитих метода класификације, посебно са све већом применом ГИС-а и сателитских снимака који у себи садрже различите спектралне канале. Прве методе класификације структуре земљишног покривача су развијене на нивоу пиксела (Kirchhof et al., 1980), где се појединачни пиксел додељује одређеној класи (Newman et al., 2011). У класификацији заснованој на нивоу пиксела, претпоставља се да је сваки пиксел састављен од једног хомогеног типа земљишног покривача, међутим многи пиксели бележе више различитих типова. Ова претпоставка довела је до развоја класификације на нивоу под-пиксела (енг. *sub-pixel*) како би се решиле аномалије при класификовању структуре земљишног покривача мешовитих пиксела (Fisher, Pathirana, 1990). Са већом доступношћу сателитских снимака високе просторне резолуције, формирао се простор за креирање нових бројних метода класификације. Као резултат тога, развијене су методе које су засноване на објектно оријентисаној анализи слике (енг. *object based image analysis–OBIA*) (Ma et al., 2017). Објектно оријентисана анализа слика не користи појединачне пикселе као основну јединицу за класификовање, већ анализира групу пиксела тј. објеката и на тај начин врши класификацију (Doren et al., 2003; Јовановић, 2015). Овакав приступ смањује варијације унутар класа и уклања импулсне шуме на слици који настају из изолованих пиксела, углавном због погрешне класификације (Phiri, Morgenroth, 2017). Објекти настају у процесу сегментације, где се пиксели деле у групе са сличним спектралним карактеристикама, облицима, текстуром у односу на суседне елементе и објекте (Moskal et al., 2011.). За потребе ове дисертације, приликом инвентаризације класе земљишног покривача, примењена је Random Forest метода (Breiman, 2001) машинског учења на сателитским снимцима који су добијени на основу даљинске детекције у оквиру Landsat сателитских мисија, уз коришћење комбинованих спектралних индекса.

3. МЕТОД РАДА

Ерозиони модели, као један од најважнијих алата у процесу детерминисања ерозионог статуса подручја, захтевају квалитетне улазне податке о структури земљишног покривача, односно начина коришћења земљишта. Са развојем технологије, процес детерминисања структуре земљишног покривача, значајно је унапређен коришћењем следећих поступака: дигитализацијом геореференцираних картографских подлога; коришћењем припремљених и јавно доступних глобалних база података, које су формиране коришћењем сателитских снимака (CORINE Land Cover, GlobCover Land Cover Maps, Land Cover CCI project, GlobeLand30, European Urban Atlas и др). Глобалне базе података су углавном генерисане помоћу сателитских снимака различитих просторних резолуција и временских серија. С обзиром на то да је земљишни покривач динамичан фактор, који се мења у времену и простору, за потребе докторске дисертације коришћена су два временска пресека (2001. и 2019. година), на основу података са Landsat сателитских мисија. Применом методе надзиране класификације на сателитским снимцима, резултати анализе структуре земљишног покривача приказани су у форми растерске базе података, са просторном резолуцијом од 30 метара. Овако добијена просторна резолуција била је предмет примене ГИС калибрације ради дефинисања и генерисања свих потребних слојева, у циљу квантификације интензитета ерозионих процеса.

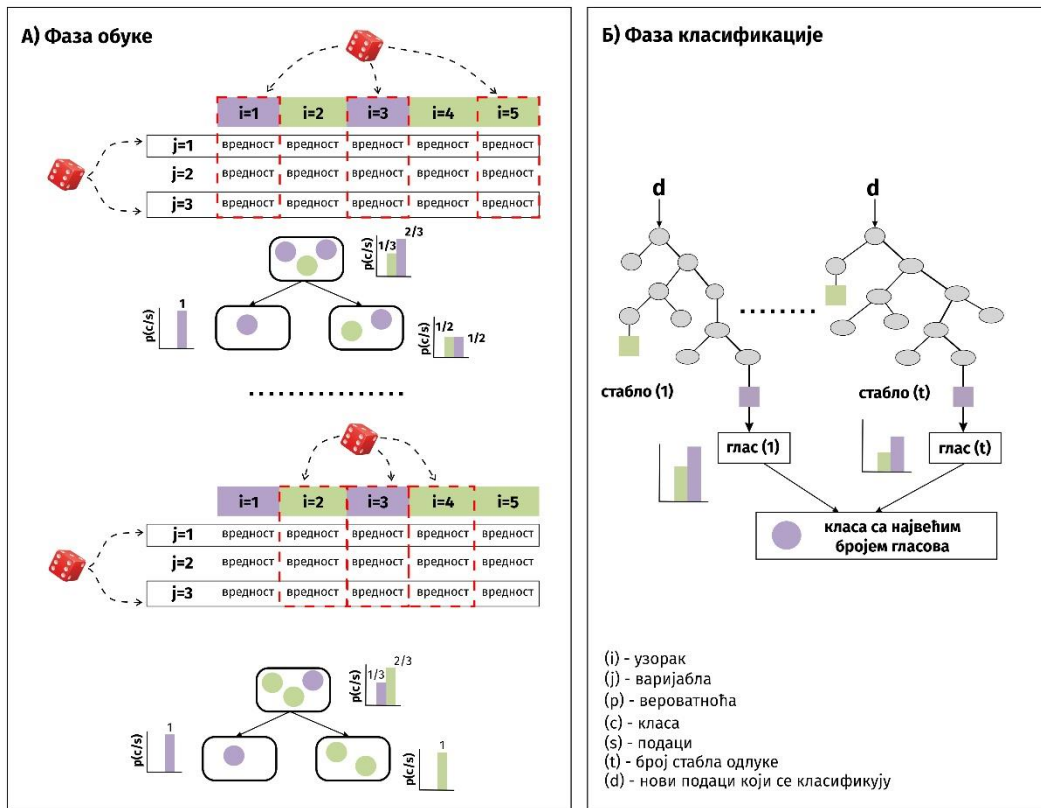
3.1. Примена Random Forest методе у класификацији земљишног покривача

Random Forest метод (метод „случајне шуме“) представља алгоритам машинског учења, намењен решавању проблема класификације применом метода ансамбалског учења. Основну јединицу у ансамблу чини „стабло одлуке“, које је формирано на принципу да је могуће комбиновати више „слабих класификатора“ како би се добио један „јак класификатор“ (Breiman, 2001). Унутар ансамбла, свако стабло одлуке користи случајно одабрану подгрупу узорака и варијабли и „обучава“ се на скупу узорака применом „приступа паковања“ (енг. *bagging approach*). „Приступ паковања“ представља технику поновног узорковања, где се једна група узорака може изабрати више пута, док се други не могу уопште изабрати (Слика 3.1.А). Према Breiman, две трећине узорака (узорци у „паковању“) се користи за обуку и развој стабала, а преостали узорци (узорци ван „паковања“) користе се за унакрсну валидацију и процену тачности модела (Breiman, 2001). Свако стабло одлуке које је „тренирано“ на узорку ће приликом класификације помоћи у доношењу одлуке о узорку који се класификује, док ће коначни резултат сваког стабла бити класа са највећим бројем гласова (Слика 3.1.Б).

Ради добијања што квалитетније карте земљишног покривача, коришћени су и одговарајући производи изведени из расположивих спектралних канала у виду спектралних индекса (Niculescu et al., 2018; Abdi, 2019). Спектрални индекси су погодни у инвентаризацији земљишног покривача, јер су добијени коришћењем сателитских снимака. Из групе вегетационих индекса коришћени су *вегетациони индекс нормализоване разлике* (енг. *Normalized Difference Vegetation Index – NDVI*) и *побољшани вегетациони индекс* (енг. *Enhanced Vegetation Index – EVI*). За потребе одвајања класа водних површина од терестричних класа коришћен је *модификовани индекс воде нормализоване разлике* (енг. *Modified Normalized Difference Water Index – MNDWI*) из групе индекса за воду. Вегетациони индекс нормализоване разлике (NDVI) представља један од најчешће коришћених индекса за праћење сезонске и вишегодишње промене, као и праћења здравственог стања вегетације. NDVI представља однос између разлике и збира канала блиско-инфрацрвеног и црвеног видљивог дела спектра (Deering, 1978):

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

NIR – блиско-инфрацрвени канал; RED – црвени канал



Слика 3.1. Фаза обуке (Слика А) и фаза класификације (Слика Б) применом Random Forest (модификовано према Belgiu et al., 2016)

Побољшани вегетациони индекс (EVI) сличан је NDVI-у и користи се за идентификацију и праћење сезонских и вишегодишњих промена структуре вегетације. EVI садржи коефицијенте корекције за дисторзије због могућег присуства аеросола у атмосфери, коришћењем плавог канала и фактора подешавања сигнала испод склопа крошње (енг. *canopy background*) (Didan et al., 2015).

$$EVI = 2,5 \cdot \frac{(NIR - RED)}{(L + NIR + C_1 \cdot RED - C_2 \cdot BLUE)}$$

L – фактор подешавања сигнала испод склопа крошњи који служи за корекцију нелинеарном, диференцијалном NIR и RED трансферу зрачења кроз вегетацију; C₁ и C₂ су коефицијенти отпора аеросолима (користи се плави канал за корекцију утицаја аеросола у црвеном каналу)

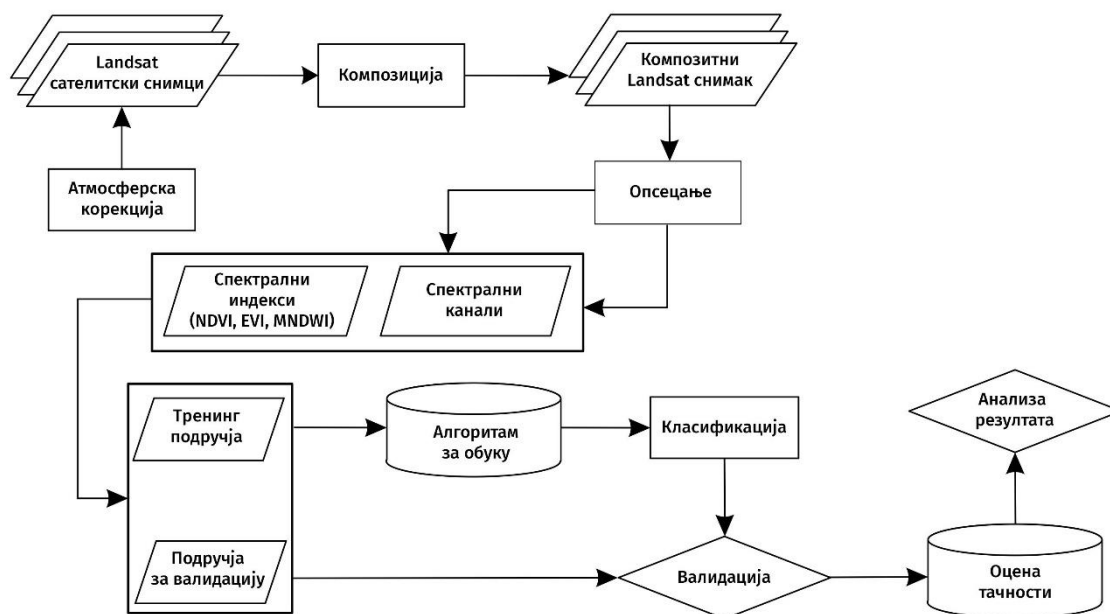
Модификовани индекс воде нормализоване разлике (MNDWI) представља модификацију NDWI (Normalized Difference Water Index), коју је предложио Xu (2006) према формули:

$$MNDWI = \frac{(GREEN - SWIR)}{(GREEN + SWIR)}$$

GREEN – зелени канал, SWIR – краткоталасни инфрацрвени канал

MNDWI се користи за идентификацију и одвајање отворених водних површина од копна. За разлику од NDWI који користи GREEN и NIR канал, MNDWI користи SWIR канал како би се прецизно раздвојиле нпр. водене од урбанизованих површина, а које су често сличне у зеленом и блиско-инфрацрвеном делу спектра због појаве сенки (Xu, 2006).

Спектрални индекси су добијени за два временска пресека, за 2001. и 2019. годину, за подручје Генералног урбанистичког плана Београда. Коришћени су сателитски снимци Landsat мисије који су преузети са званичне интернет странице US Geological Survey (www.USGS.gov). За први временски пресек (односно 2001. годину) коришћен је снимак Landsat мисије 7 са ознаком LE71860292001228NSG00 и датумом снимања 16.08.2001. године. За потребе другог временског пресека (2019. година), преузет је сателитски снимак Landsat мисије 8, са ознаком LC81860292019222LGN00 са датумом снимања 10.08.2019. године. У почетној фази, узорци за обуку класификације су преузети са ортофото снимка из 2003. године и комбинацијом сателитских канала за добијање природних и „лажних“ колор композита, како би се лакше откриле одређене појаве на самом истраживаном подручју. Полигони за обуку за сваку класу земљишног покривача креирани су применом векторизације, посебно за сваки временски пресек. Додатни независни скуп полигона је такође векторизован у сврху валидације и провере тачности. Одређен је сет узорака од шест класа (водене површине, урбанизоване односно вештачке површине, шуме, жбуње, ливаде и пољопривредне површине), а репрезентовани узорци су били проверени директно на терену. Локација контролних површина је одређивана помоћу ручног ГПС (Глобални позициони систем) уређаја (Garmin GPSMAP 60CSx). На слици 3.2. је представљен алгоритам поступака којим је извршена класификација земљишног покривача. Припремна обрада сателитских снимака и класификација земљишног покривача су обављени помоћу софтвера SNAP (Sentinel Application Platform). SNAP представља софтвер отвореног кода који је развила Европска свемирска агенција (енг. *European Space Agency-ESA*) за обраду и анализу података за посматрање Земље (енг. *Earth Observation data-EO*). Завршна фаза у класификацији земљишног покривача била је формирање тематских мапа (за 2001. и 2019. годину), које садрже релевантне информације.



Слика 3.2. Дијаграм тока примене класификације и оцене тачности анализе структуре земљишног покривача (модификовано према Abdi, 2019)

3.1.1. Оцена тачности класификације сателитских снимака

Процена тачности (енг. *accuracy assessment*) је кључна компонента и фокус значајних студија у оквиру проблематике оцене тачности класификације (Congalton, 1991; Goodchild et al., 1992; Paine, Kiser, 2003; Khorram et al., 2016). У основи, процена тачности одређује квалитет информације која је проистекла применом даљинске детекције. Ове процене, могу да буду квалитативне и квантитативне. Квалитативне процене представљају визуелно поређење

добijених података у односу на стварно стање на терену. Квантитативне процене служе за идентификацију и одређивање величине грешке. У овим проценама, пореде се подаци добijених тематских карата са референтним подацима (енг. *ground truth*) који су прикупљени адекватним обиласком терена.

Најефикаснији и најчешћи начин приказивања тачности класификације података (снимака) добijених даљинском детекцијем је у форми матрице конфузије (енг. *confusion matrix*) или матрице грешке (енг. *error matrix*), на основу које се рачунају мере тачности (Levin, 1999; Tempfli et al., 2009; Dobrota, 2018; Abdi, 2019). Матрица конфузије упоређује по класама земљишног покривача, однос између стварних категорија установљених на терену и одговарајућих категорија добijених класификацијом. Овакве матрице представљају квадратне матрице бројева са колонама и редовима, где колоне представљају референтне податке са терена, а редови категорије добijене класификацијом сателитских снимака (Табела 3.1.).

Табела 3.1. Пример матрице конфузије

	Референти подаци							Σ Класификованих података
	КЛАСЕ	1	2	3	4	...	N	
Класификовани подаци	1	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	...	X _{1n}	X ₁₊
	2	X ₂₁	X ₂₂	X ₂₃	X ₂₄	...	X _{2n}	X ₂₊
	3	X ₃₁	X ₃₂	X ₃₃	X ₃₄	...	X _{3n}	X ₃₊
	4	X ₄₁	X ₄₂	X ₄₃	X ₄₄	...	X _{4n}	X ₄₊

	N	X _{n1}	X _{n2}	X _{n3}	X _{n4}	...	X _{nn}	X _{n+}
Σ Референтних података	X ₊₁	X ₊₂	X ₊₃	X ₊₄	...	X _{+n}	1	

Резултати који су приказани на дијагонали табеле су подаци, односно пиксели, који су тачно класификовани за сваку категорију (вредности које се подударују). Матрица конфузије, поред тачности сваке класификоване категорије, приказује заједно и грешке укључивања и грешке искључивања које се јављају у класификацији. Грешке укључивања настају када су пиксели једне категорије (нпр. шумске површине) идентификовани да припадају другој категорији (нпр. водене површине), а грешке искључивања настају када пиксели нису додељени одређеној категорији (Congalton, 1991; Dobrota, 2018).

Матрица конфузије представља основу за добијање различитих мера тачности коришћењем дескриптивних, аналитичких или мултиваријационих статистичких техника као што су: укупна тачност (енг. *overall accuracy*), корисничка тачност (енг. *user's accuracy*), продуцентска тачност (енг. *producer's accuracy*), Карра статистика и др. (Tempfli et al., 2009; Khorram et al., 2016):

- Укупна тачност представља однос укупног броја тачних (сума свих елемената са главне дијагонале) са укупним бројем пиксела у матрици конфузије. Укупна тачност се најчешће користи као степен успешности класификације.

$$OA = \frac{\sum_{i=1}^r X_{ii}}{N}$$

- Корисничка тачност представља однос укупног броја коректно класификованих пиксела у *i*-тој категорији са укупним бројем свих класификованих пиксела у овој категорији (*i+*). Корисничка тачност се односи на интерес корисника мапе да утврди њену репрезентативност (тачност).

$$UA_i = \frac{x_{ii}}{x_{i+}}$$

- Продуцентска тачност представља однос укупног броја исправно класификованих узорака у i -тој категорији са укупним бројем референтних узорака. Продуцентска тачност се односи на креатора мапе који је заинтересован да произведе максимално квалитетну мапу.

$$PA_i = \frac{x_{ii}}{x_{+i}}$$

- Карра статистика представља дискретну мултиваријациону технику за процену тачности коју је увео Cohen (1960) и рачуна се из матрице конфузије према формули:

$$\hat{K} = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \cdot x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \cdot x_{+i})}$$

где је r број редова у матрици, x_{ii} је број узорака у реду i и колони i (дијагонални чланови матрице), x_{i+} су суме реда i , x_{+i} суме колоне i , N је укупан број свих узорака.

Карра статистика приказује статистичку величину K која представља оцену тачности између класификованих података и референтних података са терена. Вредности тачности статистичке величине K су предложили аутори Landis и Koch (Landis, Koch, 1977) (табела 3.2).

Табела 3.2. Интерпретација вредности Карра статистике

Вредности Карра статистике	Тумачење вредности
$0,81 \leq \hat{K} \leq 1,00$	Задовољавајуће слагање
$0,61 \leq \hat{K} \leq 0,80$	Значајно слагање
$0,41 \leq \hat{K} \leq 0,60$	Умерено (осредње) слагање
$0,21 \leq \hat{K} \leq 0,40$	Слабо слагање
$0,0 \leq \hat{K} \leq 0,20$	Врло слабо слагање

3.2. Примена Метод Потенцијала ерозије на истраживаном подручју

Метод Потенцијала ерозије (МПЕ) или колоквијално назван „Метод професора Гавриловића“, представља емпиријску методу за процену губитка земљишта, ерозиону продукцију и пронос наноса у сливу. Метод је развијен на основу дугогодишњих теренских истраживања, осматрања и мерења, на бујичним сливовима Јужне, Западне и Велике Мораве, Ибра, Тимока и Вардара (Gavrilović, 1962; Gavrilović, 1972). Захваљујући теренским истраживањима, прва верзија методе је креирана 1954. године у лабораторијама Шумарског факултета Универзитета у Београду и Института за водопривреду „Јарослав Черни“ у Београду. С обзиром на то да је метода креирана за примену на целокупној територији тадашње државе, СФР Југославије, инсистирало је на њеној апликативности у свим условима геоморфолошких и климатских варијација на предметном простору, односно од равничарских (Панонска низија) до брдско-планинских предела (од Алпских планина на северозападу према југу и истоку до планинских система Динарско-Шарско-Пиндског, Карпатског, Балканског и Родопског система, са планинским висовима до 3.000 m), годишњој суми падавина у распону од 260 mm до 5.000 mm (Кривошије код Боке Которске), средњегодишњој температури од +3°C до +28°C и ветровима чија брзина достиже 200 km/h (Вршац). У домену практичних инжењерских делатности као и у научним истраживањима у Србији, Метод Потенцијала ерозије је у примени више од пола века. Уз скромна улагања, метод се и даље усавршава према савременим сазнањима о

механизмима ерозионих процеса, а нарочито са експанзијом примене географских информационих система.

Поред прорачуна продукције и проноса наноса, метод је креиран и за потребе картирања ерозионих процеса, ерозионих подручја и квантитативну класификацију бујичних токова (Gavrilović, 1972; Вучићевић, 1996; Костадинов, 2008). У Србији се примењује као стандардни метод и „инструмент“ за инжењерске проблеме који се односе на превенцију појаве ерозије земљишта и бујичних поплава у области водопривреде, за потребе израде водопривредних основа, студија и пројеката. Метод има велику примену у свим државама бивше СФРЈ: Босни и Херцеговини (Lovrić, Тошић, 2018; Тошић et al., 2012), Северној Македонији (Минчев, 2014; Blinkov, 2015), Црној Гори (Spalević et al., 2014), Хрватској (Petras et al., 2005; Dragičević, 2016), Словенији (Zemljic, 1971; Globevnik et al., 2003; Zorn et al., 2007,) и шире: Немачкој (De Cesare et al., 1998), Италији (De Vente et al., 2006; Fanetti, Vezzoli, 2007; Milanese et al., 2014), Аргентини (Rafaelli et al., 1998), Белгији (De Vente, Poesen, 2005), Грчкој (Stefanidis et al., 1998; Emmanouloudis, Filippidis, 2002; Emmanouloudis et al., 2003; Kalinderis et al., 2009), Мароку (Ahmed, 2019), Ираку (Salahalddin et al., 2016), Ирану (Amini et al., 2014), Бразилу (da Silva et al., 2014; Lense et al., 2019), Чилеу (Kazimierski et al., 2013) и Колумбији (Piña, 2015). Од свог настанка до данас, метода је имала неколико модификација. Прву модификацију улазних параметара за прорачун коефицијента ерозије Z предложио је Раденко Лазаревић, на основу чега је урађена Карта ерозије Републике Србије, у периоду од 1966-1971. године (Lazarević, 1985). Истом методом је урађена Карта ерозије Босне и Херцеговине, у периоду од 1979-1985. године (Лазаревић, 2010).

Метод користи следеће квантитативне факторе животне средине: геолошке и педолошке карактеристике, земљишни покривач, коефицијент видљивих трагова ерозије, климатске чиниоце (средња годишња температура и средње годишње падавине) и топографски фактор. На основу ових фактора, прорачунава се коефицијент ерозије (Z), укупна и средња годишња продукција ерозионог материјала (W_{god}), као и средња годишња запремина укупних количина вученог и суспендованог наноса (G_{god}).

Метод Потенцијала ерозије је аналитичко-квантитативна емпиријска метода за процену ерозионе продукције и проноса наноса у сливу. Аутори De Vente и Poesen (De Vente, Poesen, 2005; De Vente, 2009) Метод Потенцијала ерозије карактеришу као полу-квантитативан (енг. *semi-quantitative*) метод јер се заснива на комбинацији квалитативне и квантитативне процедуре. Од свих модела који спадају у групу полу-квантитативних, Метод Потенцијала ерозије се показао као најквалитетнији и најпрецизнији, у поређењу са мереним подацима (De Vente, 2009). За потребе овог рада, коришћена је оригинална Метода Потенцијала ерозије за прорачун средње годишње продукције ерозионог материјала (Gavrilović, 1972):

$$W_{god} = T \cdot H_{god} \cdot \pi \cdot \sqrt{Z^3} \cdot A$$

W_{god} – укупна продукција ерозионог материјала на сливу [$m^3 \cdot god^{-1}$];

T – температурни коефицијент подручја;

H_{god} – средња годишња количина падавина [mm];

π – 3,14;

Z – коефицијент ерозије;

A – површина сливног подручја [km^2].

Укупна продукција ерозионог материјала се дефинише као губитак земљишног материјала услед дејства ерозионих фактора, изражен у метрима кубним за посматрани период на датом подручју (Dragićević, 2016). Укупна продукција ерозионог материјала, може да се изрази као и специфична вредност (по километру квадратном истраживаног подручја) према формули (Gavrilović, 1972):

$$W_{\text{godsp}} = \frac{W_{\text{god}}}{A}$$

W_{godsp} – специфична продукција ерозионог материјала на сливу [$\text{m}^3 \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{god}^{-1}$]

Примарни циљ примене Методе Потенцијала ерозије јесте прорачун пондерисане вредности за сваки фактор, чиме он постоје меродаван параметар за целокупно сливно подручје. Слинови код којих постоји изражена хетерогеност вредности параметара су „раздвајани“ на мање подсливове у циљу повећања хомогености вредности коришћених параметара. (Fanetti, Vezzoli, 2007). Са развојем ГИС-а, најмања изолована хетерогена јединица је сведена на основну јединицу растерског податка (пиксел) или на скуп пиксела, са сличним или приближно сличним вредностима (Globevnik et al., 2003; Mitasova et al., 2013). Сваки од појединачних пиксела или групе пиксела одређене класе вредности, представљају квантитативну информацију о појединачном параметру неопходном за примену дела или целокупне Методе Потенцијала ерозије. Информациони квалитет података свих слојева, за потребе овог рада, генерисан је и калибрисан на просторну резолуцију од 30 метара.

3.2.1. Температурни коефицијент подручја (Т)

Температурни коефицијент подручја се израчунава према формули (Gavrilović, 1972):

$$T = \sqrt{\frac{t}{10} + 0,1}$$

t – средња годишња температура ваздуха на истраживаном подручју [$^{\circ}\text{C}$]

Средња годишња температура ваздуха се добија на основу података мерења са оближњих метеоролошких станица, или преко карата изотерми истраживаног подручја.

3.2.2. Средња годишња количина падавина (H_{god})

Средња годишња количина падавина је значајан параметар у проучавању појаве и интензитета ерозионих процеса. Вредности средње годишње количине падавина се генеришу на основу базе података са више кишомernih (падавинских станица) на истраживаном подручју или у непосредној близини. За потребе овог параметра, вредности се добијају применом интерполацијских метода или савремених геостатистичких метода у ГИС окружењу.

3.2.3. Коефицијент ерозије (Z)

Метод Потенцијала ерозије састоји се од аналитичке обраде података о чиниоцима који утичу на ерозију. Како је ерозија земљишта просторна појава, у дводимензионалном референтном систему (нпр. картографском прилогу) се приказује према класификацији на основу аналитички израчунатог коефицијента ерозије (Z). Коефицијент није у зависности од климатских карактеристика, већ искључиво од карактеристика педолошких и/или геолошких формација, вегетационог покривача, рељефа и видљиве заступљености ерозионих процеса.

Коефицијент ерозије (Z) се израчунава применом следећег математичког израза (Gavrilović, 1972):

$$Z=Y \cdot X \cdot a \cdot (\varphi + \sqrt{I_{sr}})$$

Y – реципрочна вредност коефицијента отпора земљишта на ерозију;

X·a – коефицијент уређења слива или подручја;

φ – бројни еквивалент видљивих и јасно изражених процеса ерозије на сливу;

I_{sr} – средњи пад слива.

Према вредностима коефицијента ерозије, ерозиони процеси се могу сврстати у различите категорије (Gavrilović, 1972). Вредности коефицијента Z се крећу у опсегу од 0,1 до 1,5 (Табела 3.3). Представљене вредности коефицијента ерозије се у пракси могу регистровати са мањим или већим одступањима само у ретким и изузетним случајевима (Gavrilović, 1972).

Табела 3.3. Категоризација ерозионих процеса према вредности коефицијента Z

Категорија разорности (ерозивности)	Јачина ерозионих процеса	Тип владајуће ерозије	Коефицијент ерозије Z	Средња вредност Z
I	Екседивна ерозија	дубинска	> 1,51	1,25
		мешовита	1,21-1,50	
		површинска	1,01-1,20	
II	Јака ерозија	дубинска	0,91-1,00	0,85
		мешовита	0,81-0,90	
		површинска	0,71-0,80	
III	Осредња ерозија	дубинска	0,61-0,70	0,55
		мешовита	0,51-0,60	
		површинска	0,41-0,50	
IV	Слаба ерозија	дубинска	0,31-0,40	0,30
		мешовита	0,25-0,30	
		површинска	0,20-0,24	
V	Врло слаба ерозија	трагови ерозије	0,01-0,19 и мање	0,01

3.2.4. Коефицијент отпора земљишта на ерозију (Y)

Коефицијент отпора земљишта на ерозију (Y) зависи од климатских услова средине, геолошке подлоге и типова педолошких творевина. Вредности коефицијента Y су примарно детерминисане у Лабораторији за бујице и ерозију, Одсека за ерозију и мелиорације Шумарског факултета Универзитета у Београду (Gavrilović, 1972). Вредности се односе на отпорност стенских маса и земљишних творевина на процес „бомбардовања“ кишним капима, као и на отпорност земљишних честица на површински отицај и еолску ерозију. Према оригиналној методи, вредности коефицијента се крећу од 0,25 за голе и компактне стене до 2,0 за неvezана земљишта. Према интерпретацији других аутора, вредности се крећу 0,1 до 1 (Lazarević, 1983), 0,2 до 1,2 (Globevnik et al., 2003), док неки аутори у Ирану сматрају да овај коефицијент треба одређивати у односу на типове геолошке подлоге (Yousefi et al., 2014; Радић, 2014).

3.2.5. Коефицијент уређења слива (X_a)

Коефицијент уређења слива и/или њему припадајућег ерозионог подручја, односи се на заштићеност земљишта од утицаја атмосферских чинилаца и ерозије. Овај коефицијент се састоји од два фактора, од првобитне или „неизмењене“ структуре површина („ X “) и степена уређености у условима пре и после примене противерозионих радова („ a “). Вредности према Гавриловићу се крећу од 0,05 до 1,0 (Gavrilović, 1972), док други аутори предлажу распон параметра од 0 до 0,95 (Globevnik et al., 2003), а Fanetti и Vezzoli (2007) од 0,05 до 0,6. Вредност овог параметра се може добити на више начина: од највише примењиване CLC (CORINE Land Cover) базе података о начину коришћења земљишта (Dalaris et al., 2013) до примене метода даљинске детекције.

3.2.6. Коефицијент видљивих и јасно изражених ерозионих процеса (ϕ)

Коефицијент ϕ представља бројни еквивалент видљивих и јасно изражених процеса ерозије на сливу или угроженом подручју. Према оригиналној методи, вредности фактора се крећу од 0,1 (подручја без видљивих трагова ерозије) до 1,0 (подручја која су захваћена дубинском ерозијом) (Gavrilović, 1972).

3.2.7. Средњи нагиб терена (Isr)

Средњи нагиб терена (Isr) представља тополошку карактеристику слива, односно ерозионог подручја или угрожене парцеле земљишта, за коју се одређује коефицијент ерозије (Z). Према оригиналној методологији, средњи нагиб терена представљен је пондерисаном аритметичком средином површина између две изохипсе (Gavrilović, 1972).

3.3. Примена RUSLE модела на истраживаном подручју

Емпиријски модел за прорачун губитака земљишта, који има најширу примену у свету, јесте Универзална једначина губитака земљишта (USLE—Universal Soil Loss Equation) (Wischmeier, Smith, 1965, 1978). Метод је промовисан као званична методологија Службе за конзервацију земљишта (Soil Conservation Service – SCS) у САД 1952. године, као једначина Musgrave, да би се након одређених измена и допуна под именом USLE појавио 1965. године (Wischmeier, Smith, 1965). Модел је настао на основу мерења на великом броју огледних ерозионих парцела, на којима су коришћени симулатори падавина, у условима различитих категорија земљишног покривача и вегетације. Једна од првих примена USLE у ГИС окружењу је била заснована на издвајању топографских параметара из дигиталног елевационог модела (Mitasova et al., 2013). Захваљујући ГИС-у, модел је постао погодан за прорачун губитака земљишта са нивоа парцеле до нивоа слива. Даљим развојем ГИС-а и пратећих софтвера и алата, настали су и нови модели који садрже USLE или неки од њених параметара: RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) (Renard et al., 1991); MUSLE (Modified Universal Soil Loss Equation) (Williams, 1975); ANSWERS, AGNPS и SWAT (Rewerts, Engel, 1991; Mitchell et al., 1993; Lim et al., 2005; Kim et al., 2009). Од свих модификованих облика, модел RUSLE је најприближнији оригиналном моделу и има ширу примену од осталих модификација. Настао је као софтвер са прилагођеним улазним параметрима у циљу прорачуна губитака земљишта не само на падинама, него и на комплекснијим топографским формама (Foster et al., 2003). На подручју земаља које су чланице Европске Уније, Panagos и сарадници (2015) су применили модел RUSLE користећи квантификоване и верификоване улазне податке високе резолуције, уз мање модификације, на основу чега је настао модел RUSLE2015 (Panagos et al., 2015a). Моделом RUSLE се може прорачунати средњи годишњи губитак земљишта по јединици површине, као производ пет ерозионих фактора према формули:

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$$

A – средња годишња вредност ерозионих губитка земљишта [$t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$];

R – фактор ерозионе снаге кише [$MJ \cdot mm \cdot h^{-1} \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$];

K – фактор еродибилности земљишта [$t \cdot ha \cdot h \cdot ha^{-1} \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$];

LS – топографски фактор [бездимензионалан];

C – фактор вегетације и начина коришћења земљишта [бездимензионалан];

P – фактор конзервационих мера [бездимензионалан].

Да би се прорачунао губитак земљишта према моделу RUSLE, сваки ерозиони фактор се мора појединачно генерисати на основу сложених формула. Излазни резултат сваког ерозионог фактора у ГИС окружењу је у форми растерске базе података као посебан слој. За потребе овог рада, просторна резолуција свих слојева је генерисана на 30 метарској резолуцији ћелије (пиксела).

3.3.1. Фактор ерозионе снаге кише (R)

Фактор ерозионе снаге кише (R) одражава деструктивни потенцијал падавина у односу на земљиште (Wischmeier, Smith, 1978). Фактор R је индикатор утицаја падавина на ерозиону продукцију материјала. Годишња вредност фактора R представља функцију енергије кише (E) и тридесетоминутног максималног интензитета кише (I30) (Renard et al., 1997; Morgan, 2005). С обзиром да многе земље немају мерене податке о интензитету и енергији кише, поједини аутори су пронашли другачије методе и алтернативне једначине за добијање овог фактора. Аутори Naipal и сарадници (2015) примењивали су америчке и европске базе података за добијање фактора R. Користили су просторну резолуцију од 30 лучних секунди што је приближно око 1 km (једна лучна секунда износи 30,87 m на екватору) и комбинацију вредности средњих годишњих падавина и средње надморске висине (Naipal et al., 2015; Benavidez et al., 2018). У Португалу су Loureiro и Coutinho (2001) користили податке дневних мерења падавина за низ од 27 година, како би извели једначину за прорачун фактора R. Panagos и сарадници (2017) су користили податке добијене обрадом плувиографских трака са 3.625 станица из 63 земље, како би добили интерполовани фактор R просторне резолуције од 30 лучних секунди (Panagos et al., 2017). Без обзира на ниску резолуцију, добијени глобални сет података може да се користи у регионима који оскудевају са мереним климатским показатељима. За земље чланице Европске уније, на основу интензитета падавина од 5, 10, 15, 30 и 60 минута прикупљених са 1.541 станице, прорачунат је фактор R просторне резолуције од 1 km (Panagos et al., 2015b). За потребе ове дисертације коришћене су просечне годишње количине падавина. Применом упрошћеног алгоритма (Van der Knijff et al., 1999, 2000; Grimm et al., 2003), према следећој формули је одређен R:

$$R = b_0 \cdot P_m$$

R – фактор ерозионе снаге кише [$MJ \cdot mm \cdot h^{-1} \cdot ha^{-1} \cdot mesec^{-1}$];

b_0 – емпиријски коефицијент [$MJ \cdot h^{-1} \cdot mesec^{-1}$];

P_m – средња годишња количина падавина [$mm \cdot mesec^{-1}$].

Алгоритам је изведен за регију Тоскана на основу података мерења са 25 станица, које су имале годишњу количину падавина 600-1200 mm. Вредност емпиријског коефицијента има распон вредности од 1,1 до 1,5, док је за регију Тоскана усвојена вредност од 1,3 која је касније примењена за целу Италију. Ова вредност емпиријског коефицијента од 1,3 успешно је коришћена на истраживаним подручјима у јужној и централној Србији (Perović et al., 2012; Belanović et al., 2013; Перовић, 2015). Новија истраживања су рађена по питању овог емпиријског коефицијента на основу обраде плувиографских трака са метеоролошке станице Врање, након чега је емпиријски коефицијент калибрисан на вредност 1,1 (Perović et al., 2018). Вредност емпиријског коефицијента од 1,1 је усвојена за потребе ове докторске дисертације, с обзиром да се истраживано подручје ГУП налази у региону где је средња годишња количина падавина око 700 mm. Фактор R је приказан у форми растера просторне резолуције од 30 m, применом интерполацијске методе IDW (*Inverse Distance Weighting*) на меродавне кишомерне станице које имају утицај на истраживано подручје.

3.3.2. Фактор еродибилности земљишта (K)

Отпорност земљишта на дејство ерозионих агенаса изражава се фактором еродибилности (Wischmeier, Smith, 1978; Morgan, 2005). С обзиром да фактор K представља интегрисан параметар, на основу коришћења више специфичних карактеристика земљишта, пожељно је да се одређује директним мерењем на терену (Kinnell, 2010), што није могуће увек обезбедити услед временских и финансијских захтева. Стога се примењују једначине које узимају у обзир следеће параметре: гранулометријски састав земљишта, водопропустљивост, садржај органске материје, итд. Dangler и El-Swaify (1976) су развили једначине за вулканска земљишта на Хавајима, које се могу користити и у појединим тропским подручјима. Поједини аутори су примењивали специфичну запреминску масу земљишта у прорачуну фактора K (Young, Mutchler, 1977). Ипак, већина једначина је развијена на основу података о гранулометријској структури земљишта (Williams, 1995; Römken et al., 1997; Torri et al., 1997). Једна од најшире примењених једначина, која је коришћена и у овој дисертацији, јесте једначина Wischmeier и Smit (1978):

$$K = [2,1 \cdot 10^{-7} \cdot M^{1,14} \cdot (12 - OM) + 4,3 \cdot 10^{-3} \cdot (s - 2) + 3,3 \cdot (p - 3)] \cdot 0,1317$$

K – фактор еродибилности земљишта [$t \cdot ha \cdot h \cdot ha^{-1} \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$];

M – параметар величине честица [mm];

OM – садржај органске материје [%];

s – структура земљишта;

p – водопропустљивост земљишта;

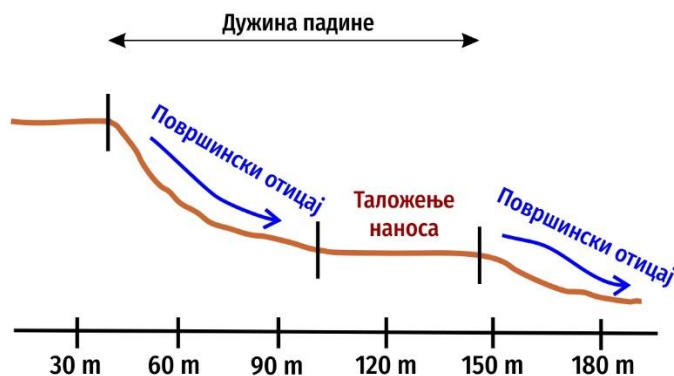
0,1317 – коефицијент за конвертовање коначне вредности у вредност SI јединице.

Једначина се успешно примењује у земљама Европске уније (Panagos et al., 2014b), као и на територији Србије (Perović et al., 2012; Životić et al., 2012; Годосијевић, 2012; Belanović et al., 2013).

3.3.3. Топографски фактор (LS)

Рељеф значајно утиче на настанак ерозионих процеса, а у оригиналној методологији USLE тај утицај се приказује преко топографског фактора LS. Фактор LS представља ефекат дужине и

нагиба падине на интензитет ерозије, димензионисан према стандардној парцели дужине 22,1 m и нагиба од 9% (Wischmeier, Smith, 1978). Оригинална формула за прорачун топографског фактора има своја ограничења јер мора да се рачуна на основу стандардне парцеле. Усваја се претпоставка да падина има уједначен нагиб (као и стандардна парцела), а ако није тако онда се комплексна падина дели на сегменте са релативно уједначеним нагибом (Слика 3.3) (Wischmeier, Smith, 1978). Овај недостатак је превазиђен применом модела RUSLE, тако да топографски фактор може да се рачуна на различитим падинама, без обзира на дужину и нагиб (Renard et al., 1997).



Слика 3.3 Теренска процена дужине нагиба на падини (модификовано према Khosrowpanah et al., 2007)

Даљим истраживањима развијене су нове формуле за прорачун LS фактора, које могу да се примене од нивоа падине до нивоа слива (Desmet, Govers, 1996). Развојем ГИС технологије и применом различитих алгоритама на дигитални елевациони модел, омогућено је да се примењује на различитим површинама и комплексним рељефним формама (Moore, Burch, 1986b; Moore, Wilson, 1992; Hickey et al., 1994; Desmet, Govers, 1996; Mitasova et al., 1996; Van Remortel et al., 2001; Van Remortel et al., 2004; Mitasova et al., 2013; Zhang et al., 2013). Данас је највише коришћена методологија за прорачун LS фактора заснована на алгоритму који је коришћен у овом раду, према формули (Desmet, Govers, 1996; Panagos et al., 2015c):

$$L_{i,j} = \frac{(A_{i,j-in} + D^2)^{m+1} - A_{i,j-in}^{m+1}}{D^{m+2} \cdot x_{i,j}^m \cdot 22,13^m}$$

$L_{i,j}$ – фактор дужине нагиба за сваки пиксел $[i,j]$;

$A_{i,j}$ – просторна концентрација отицаја на нивоу ћелије пиксела $[m^2]$;

D – величина пиксела $[m]$;

$x_{i,j}$ – аспект правца сваког пиксела $[i,j]$;

m – дужина падине.

Фактор нагиба падине S се рачуна на основу следеће формуле (McCool et al., 1987):

$$\begin{aligned} S &= 10,8 \cdot \sin\theta + 0,03 & \theta < 9\% \\ S &= 16,8 \cdot \sin\theta - 0,5 & \theta \geq 9\% \end{aligned}$$

θ – угао нагиба $[^\circ]$.

3.3.4. Фактор вегетације и начина коришћења земљишта (С)

Фактор С изражава однос губитака земљишта на парцели одређене покривности и начина коришћења, према губицима са стандардне парцеле која је под угаром, тј. према условима под којим је одређен фактор К (Wischmeier, Smith, 1978). Одређен је на бази дугогодишњих истраживања на бројним USLE парцелама, које су биле под различитим степеном покривности и начинима коришћења. Овај фактор има редуковани карактер у RUSLE формули јер се вредност фактора С смањује са повећањем заштитне улоге покривача, степена покривности и утицаја надземног дела гајене културе. Данас постоји више начина и метода како да се одреди фактор С. На основу бројних студија и резултата истраживања, који су обављени у различитим деловима света, детерминисане су регионалне вредности фактора С (Wischmeier, Smith, 1978; David, 1988; Fernandez et al., 2003; Morgan, 2005; Dumas, Fossey, 2009; Nontananandh, Changnoi, 2012). Применом ГИС-а у напредним софтверским окружењима, уз коришћење података добијених даљинском детекцијом могуће је одредити вредност фактора С, у чему се истиче примена трансформације вегетационог индекса (нпр. NDVI) у фактор С, директно преко линеарне (De Jong, 1994) или експоненцијалне регресије (Van der Knijff et al., 2000; Perović et al., 2012), или директним мерењем на терену (Karaburun, 2010; Vatandaşlar, Yavuz, 2017). Такође, даљинска детекција се може применити преко метода надзиране и ненадзиране класификације на мултиспектралним сателитским снимцима, и касније конверзије у С фактор. За потребе ове дисертације, вредност фактора С је добијена на основу анализе класификованог земљишног покривача, уз примену Random Forest метода машинског учења. Коришћени су сателитски снимци добијени преко Landsat мисија. Вредности фактора С су додељене векторској бази података класификованог земљишног покривача у форми атрибута, према истраживањима која су примењена на територији земаља чланица Европске уније (Panagos et al., 2015d).

3.3.5. Фактор конзервационих мера (Р)

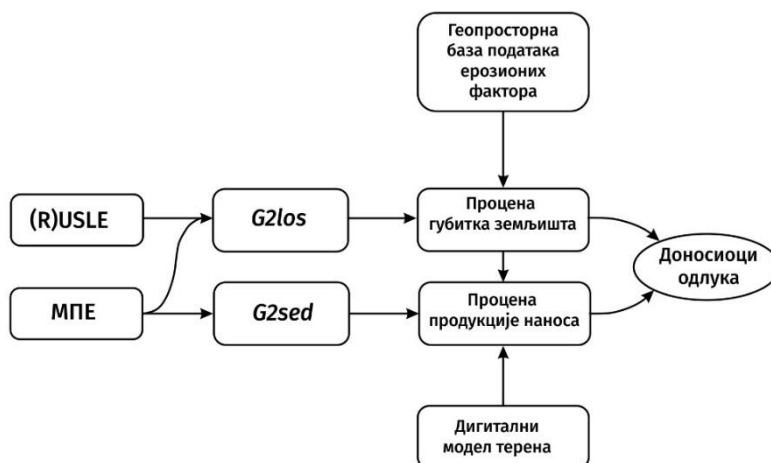
Фактор конзервационих мера Р представља однос губитка земљишта на падинама које су заштићене одређеним конзервационим мерама, у односу на губитке земљишта на падинама које су под ораницама или са обрадом у правцу нагиба терена (Renard et al., 1997). Фактор Р одражава узицај начина коришћења земљишта, односно врсте примењених конзервационих мера ради заштите од ерозије. Као најважније конзервационе мере, у RUSLE моделу се издвајају контурна обрада, појасна обрада и терасирање.

Фактор Р се може одредити на основу референтне литературе, уколико се истраживано подручје налази у региону са сличним условима, у односу на већ истражен регион. У случају да не постоје подаци о примењеним конзервационим мерама и радовима, вредност фактора $P=1$ (Adornado et al., 2009). Аутори Morgan (2005) и David (1988) су давали вредности фактора С за једну врсту усева, у условима различитог начина обраде (David, 1988; Morgan, 2005). За потребе овог рада, усвојена је вредност фактора $P=1$, због недостатка података о примени конзервационих мера.

3.4. Примена G2 (Geoland 2) модела на истраживаном подручју

Модел G2 припада групи емпиријских модела и настао је касније од МПЕ и RUSLE, кроз пројекат Geoland2 (Panagos et al., 2012; Panagos et al., 2014a), у сарадњи Обједињеног истраживачког центра (JRC-Joint Research Centre) и Лабораторије за управљање шумама и примену даљинске детекције на Аристотеловом универзитету у Солуну. Модел омогућава процену губитака земљишта који се изражавају у тонама по хектару, на месечном или годишњем нивоу. Структура улазних података је веома слична моделу (R)USLE (Wischmeier, Smith, 1978; Renard et al., 1997) и Методи Потенцијала ерозије (Gavrilović, 1972). G2 модел се

састоји од два главна подмодела: један служи за прорачун ерозионе продукције (G2los), а други за прорачун преноса наноса (G2sed) (Слика 3.4.). Модел G2los обухвата прорачун улазних параметара према моделу RUSLE и Методи Потенцијала ерозије. Модел G2sed се ослања на прорачун преноса наноса по Методи Потенцијала ерозије уз коришћење коефицијента ретенције Ru.



Слика 3.4. Дијаграм тока примене и доприноса модела (R)USLE и МПЕ у моделу G2 и њихов однос са улазним и излазним подацима (Извор: Karydas, Panagos, 2018)

Модел G2 је апликативан у ГИС окружењу и хармонизован је са стандардним геопросторним улазним подацима из глобалних и европских база података, као што су: глобална база података о ерозионој снази кише (Global Rainfall Erosivity Database-GloReDa); европска база података о ерозионој снази кише (Rainfall Erosivity Database at European Scale-REDES); европска база података о земљишту (European Soil DataBase-ESDB); растерске и векторске базе података у оквиру Коперникус програма Европске уније за сателитско снимање Земље; сателитски снимци мисија Landsat, Sentinel и SPOT; дигитални модел висина (енг. *Digital Elevation Model-DEM*); дигитални модел површи (енг. *Digital Surface Model*); дигитални модел терена (енг. *Digital Terrain Model*) и други. Модел је успешно примењен на сливу реке Стримос која се налази између Грчке и Бугарске (Panagos et al., 2012), затим на Криту (Panagos et al., 2014a), сливовима у Албанији (Karydas et al., 2015; Zdruli et al., 2016), на Кипру (Karydas et al., 2016), Турској (Artun et al., 2017), Пољској (Halecki et al., 2018), Италији (Karydas et al., 2020), на подручју Ирана (Mohammadi et al., 2021), у Аустралији (Jeanneau et al., 2021) и Србији (Polovina et al., 2021). Сама структура модела и примена улазних параметара је прошла кроз разне модификације и даље се развија. Месечни или просечни годишњи губици земљишта се одређују на основу пет ерозионих фактора, према формули:

$$E = \frac{R}{V} \cdot S \cdot \frac{T}{L}$$

E – средњи годишњи губитак земљишта [$t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$];

R – фактор ерозионе снаге кише [$MJ \cdot mm \cdot h^{-1} \cdot ha^{-1} \cdot mesec^{-1}$];

V – вегетациони фактор ретенције [/];

S – фактор еродибилности земљишта [$t \cdot ha \cdot h \cdot ha^{-1} \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$];

T – фактор топографског утицаја [/];

L – фактор ефекта предеоног обрасца [/].

Према формули, ерозиони фактори се могу поделити на природне и антропогене чиниоце. Фактори као што су R, S и T су природни чиниоци настанка ерозије, док су фактори V и L антропогени чиниоци, односно одражавају утицај начина коришћења земљишта (Karydas, Panagos, 2018). У погледу сталних и варијабилних параметара од значаја за настанак ерозије земљишта, фактори R и V се третирају као променљиви током године. Фактор ерозионе снаге кише R, представља кумулативни утицај свих падавина током одређених месеци, док вегетациони фактор ретенције одражава заштитну улогу, која зависи од степена покривности вегетације и начина управљања земљиштем током посматраног периода. Фактори S, T и L се могу сматрати сталним и статичним факторима, док неки аутори (Borselli et al., 2012) сматрају да фактор еродибилности (S) има одређена сезонска колебања. За потребе овог рада, просторна резолуција за све слојеве генерисана је на 30 метарској резолуцији ћелије. Са аспекта временске серије, слојеви су генерисани на просечне годишње вредности за 2001. и 2019. годину.

3.4.1. Фактор ерозионе снаге кише (R)

Фактор ерозионе снаге кише се рачуна по истом принципу као у RUSLE моделу, у зависности од тога да ли се рачуна процена губитака земљишта на месечном или годишњем нивоу.

3.4.2. Вегетациони фактор ретенције (V)

Вегетациони фактор ретенције (V) одговара фактору C у моделу RUSLE. Фактор V, према дефиницији, одражава степен заштите од ерозије на основу присуства вегетације и начина коришћења земљишта (Wischmeier, Smith, 1978; Karydas, Panagos, 2018). За разлику од фактора C, који се добија табеларно (према вредностима на основу истраживања) или применом даљинске детекције, фактор V у моделу G2 се добија комбинацијом оба приступа. Улазни параметри су временска серија вегетационих индекса и константни емпиријски параметри начина коришћења земљишта према формули:

$$V = e^{(LU \cdot F_{Cover})}$$

V – вегетациони фактор ретенције [/];

LU – фактор начина коришћења земљишта [/];

F_{Cover} – фракциони вегетациони покривач [/].

Фактор V је бездимензионалан, са вредностима у распону од 1 до + ∞. Вредност V=1 одражава неповољан начин управљања земљиштем (појава голети), док вредности V>1 одражавају утицај повољног начина управљања земљиштем, кроз минимизирање ефекта деловања ерозионих процеса. Емпиријски фактор начина коришћења земљишта (LU-енг. *land use*) се одређује на терену и изражава степен уређености, односно начин управљања и коришћења земљишта. Његова улога у фактору V се односи на детерминисање степена „заштићености“ земљишта од деловања ерозионих процеса. LU је настао интерпретацијом емпиријских скупова података који се односе на коефицијент уређења слива X·а, из Методе Потенцијала ерозије (Gavrilović, 1972). Параметар LU се налази у дијапазону од LU=1, за земљиште које је огољено и подложно ерозионим процесима, до LU=10, за земљиште које је заштићено од деловања ерозионих процеса.

Фракциони вегетациони покривач F_{Cover} (енг. *Fractional vegetation cover*) представља удео зелене вегетације унутар једног пиксела и добија се применом даљинске детекције на основу коришћења специфичних алгоритама за обраду сателитских снимака. Фракциони вегетациони

покривач представља био-геофизички параметар са вредностима у распону од 0 до 1 (потпуно голо до густог вегетационог склопа). Творци модела G2 (Karydas, Panagos, 2018) предлажу коришћење FCover, фактора дефинисаног програмом Коперникус, у оквиру сервиса за праћење стања земљишта на глобалном нивоу (The Copernicus Global Land Service-CGLS) (Baret et al., 2013). Овај сервис пружа низ био-геофизичких показатеља о земљишном простору на глобалном нивоу, на основу дуготрајних осматрања, са ниском до средњом просторном резолуцијом (од 0,3 km до 1 km). Поред FCover, програм Коперникус користи и друге био-геофизичке показатеље, као што су FAPAR (The Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation), LAI (The Leaf Area Index), NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) и друге.

С обзиром на то да фракциони вегетациони покривач, добијен из Коперникусовог програма, има ниску просторну резолуцију од 0,3 km до 1 km, за потребе овог рада користиће се други извори ради детерминисања FCover. Развој технологије, примена нових техника машинског учења и алгоритама, створила је могућност креирања различитих приступа за одређивање FCover. Један од приступа јесте примена емпиријских, физичких или хибридних модела. Група истраживача из Турске (Artun et al., 2017), за прорачун G2 и FCovera индекса је користила снимке сателита Landsat мисије, уз примену формуле за трансформацију NDVI индекса (Van der Knijff et al., 2000). Неки аутори (Schmidt et al., 2018) примењују алгоритам *Linear Spectral Unmixing* директно на мултиспектралне снимке или на орто-фото снимке високе резолуције, док неки аутори примењују комбинацију вегетационих индекса. Један од најшире примењених метода у науци и пракси, за добијање фракционог вегетационог покривача, јесте NDVI према формули (Carlson, Ripley, 1997; Gutman, Ignatov, 1998):

$$FCover = \frac{NDVI - NDVI_{soil}}{NDVI_{veg} - NDVI_{soil}}$$

NDVI – пондерисани слој вегетационог индекса;

NDVI_{veg} – вредност која представља вегетацију у слоју вегетационог индекса;

NDVI_{soil} – вредност која представља голет у слоју вегетационог индекса.

Применом ове формуле, мора се водити рачуна о утицајима на слојеве који се користе за вегетацију и голо земљиште, као што су: храпавост површине, садржај воде у земљишту, временске прилике и вегетациони период (Qi et al., 2000; Zhang et al., 2019). Спектрални индекси NDVI су добијени за два временска пресека (2001. и 2019. година), а коришћен је сет од 12 снимака на годишњем нивоу, односно, за сваки месец у 2001. и 2019. години, како би се добиле просечне вредности. У 2001. години коришћени су сателитски снимци мисије Landsat 5 и Landsat 7, док су за 2019. годину коришћени сателитски снимци мисија Landsat 7 и Landsat 8. С обзиром да се користе различити сателитски снимци за потребе овог рада, важно је да постоје идентични спектрални канали за све сателите, који омогућују добијање упоредивих информација и успешну анализу временских серија, без ограничења у праћењу промена структуре и квалитета земљишног покривача.

3.4.3. Фактор еродибилности земљишта (S)

Фактор еродибилности земљишта рачуна се као у моделу RUSLE, према једначини Wischmeier и Smit (1978) или применом номограма (Renard et al., 1997).

3.4.4. Фактор топографског утицаја (Т)

Фактор топографског утицаја Т, представља дериват дигиталног модела терена и еквивалентан је топографском фактору LS у моделу RUSLE. С обзиром да је модел G2 настао симбиозом два емпиријска модела (RUSLE и Метода Потенцијала ерозије), аутори Karydas и Panagos (2018) предлажу једначину коју су развили Moore и Burch (1986a), за прорачун топографског фактора LS, односно фактора Т у моделу G2:

$$T = \left(\frac{A_s}{22,13} \right)^{0,4} \cdot \left(\frac{\sin \beta}{0,0896} \right)^{1,3}$$

Где је:

Т – фактор топографског утицаја [/];

A_s – просторна концентрација отицаја (енг. *flow accumulation*) [m] представља функцију прорачунавања смера отицаја у растерској форми, где се врши сабирање вредности ћелије растера низводно по правцу природног тока (Jenson, Domingue, 1988);

β – нагиб падине у радијанима.

3.4.5. Фактор ефекта предеоног обрасца (L)

Током развоја G2 модела фактор L је именован као фактор од утицаја на задржавање дела ерозионог материјала и отицаја (енг. *slope intercept*), а касније је преименован у фактор „ефекта предеоног обрасца“ (енг. *landscape effect*) (Karydas, Panagos, 2018). Улога овог фактора јесте квантификација утицаја линеарних предеоних елемената на процес кретања ерозионог материјала и површинског отицаја низ падину. Предеоно еколошке анализе истичу значај примене метрике ивица на нивоу интегралног предела, као индикатора предеоних процеса и функција којима припада и ерозија земљишта (Радић, 2014). Различите пољопривредне парцеле утичу на фрагментацију нагиба по дужини, мењају хидрауличке услове (кофицијент рапавости) и динамику кретања површинског отицаја (Bergsma, 1986; Karydas, Panagos, 2018). Са друге стране, фактор L се може интерпретирати као утицај антропогених активности који је комплементаран са фактором конзервационих мера Р у методологији (R)USLE. Слични разлози довели су и до детерминације коефицијента ретенције наноса у сливу (R_u), у Методи Потенцијала ерозије (Gavrilović, 1972). Према овој методи, део еродираниог материјала не доспева до најниже коте слива, већ остаје у увалама и депресијама дуж линеарних предеоних елемената (природних или интродукованих) који онемогућавају његову миграцију.

Да би се овај фактор одредио, користи се метод „детекције ивица“ (енг. *edge detection*), приликом обраде мултиспектралних саталитских снимака. „Детекција ивица“ представља технику или алгоритам који поједностављује или мења снимак ради лакше анализе (Mallat, Zhong, 1992; De Jong, Van Der Meer, 2004; Lazarević i sar., 2014). Снимци у себи садрже велики број информација као што су: број и облик објекта; оријентација; текстура снимка; итд. (Oskoei, Hu, 2010; Барјактаровић, 2012). Технике за детекцију ивица функционишу на принципу лоцирања објекта који се састоји од пиксела заједничких особина, нпр. интензитет вредности или боја кода, чиме се смањује количина података и одбацују непотребне информације, после чега остају само ивице. Данас је у употреби више техника и метода за детекцију ивица, али за потребе коришћења G2 модела, Karydas и Panagos (2018) предлажу примену Sobel филтер алгоритма (Sobel, Feldman, 1968). Sobel филтер алгоритам представља најпознатију међу класичним методама због своје једноставне имплементације и бољих перформанси при детекцији дијагоналних ивица. Sobel филтер процењује градијент на основу

маски 3x3, и уколико је градијент већи од дефинисаног прага пиксел се проглашава за ивични (Барјактаровић, 2012) (Слика 3.5).



Слика 3.5. Правац ивице и градијент у посматраној тачки (Извор: Gonzalez, 2008; Барјактаровић, 2012)

Маске које се користе су матрице 3x3 пиксела које процењују градијент у хоризонталном (x) и вертикалном (y) правцу (Слика 3.6.А), док величина градијента представља суму ова два градијента (Слика 3.6.Б). Sobel алгоритам омогућује истовремени прорачун у правцу хоризонталног и вертикалног градијента, у делу слике који покрива матрица. Sobel алгоритам се примењује на слику множењем 3x3 матрице, са блоком 3x3 пиксела. Након завршетка на том блоку, цео процес се наставља померањем целе слике за 3x3, по x и y оси (Слика 3.7).

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{array}{|c|c|c|} \hline -1 & 0 & 1 \\ \hline -2 & 0 & 2 \\ \hline -1 & 0 & 1 \\ \hline \end{array} \quad \begin{array}{|c|c|c|} \hline 1 & 2 & 1 \\ \hline 0 & 0 & 0 \\ \hline -1 & -2 & -1 \\ \hline \end{array}$$

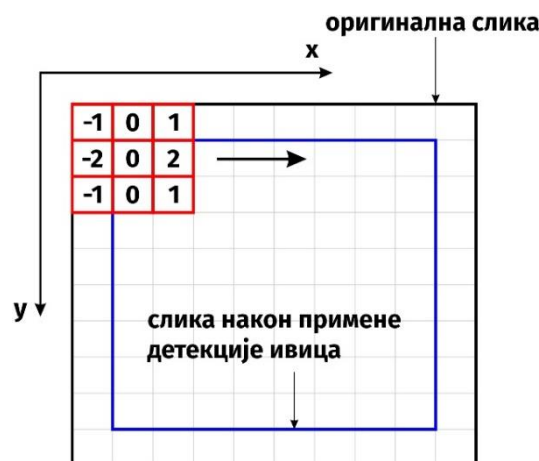
x-правац **y-правац**

$$G_y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}$$

$$|G| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$$

(А) (Б)

Слика 3.6. Маске за Sobel детектор ивица (Слика А); формула за прорачун укупне слике са ивицама (Слика Б)



Слика 3.7. Примена маске 3x3 Sobel филтера за детекцију ивица на слици

Како би се добио тражени фактор утицаја предела, алгоритам за детекцију ивица Sobel филтер се примењује на спектралном каналу из блиског инфрацрвеног дела спектра (eng. *Near-Infrared, NIR*), према формули (Karydas, Panagos, 2018):

$$L = 1 + \sqrt{\frac{S_f}{DN_{max}}}$$

S_f – Sobel филтер примењен на NIR спектрални канал

DN_{max} – максимална вредност дигиталног броја на спектралном каналу

Уколико се примени Sobel филтер на сателитским снимцима средње до високе просторне резолуције, биће уочљивији линеарни предеони елементи, као што су путеви (порозни и непорозни), живице, дрвореди, живе ограде, степенасте терасе, природне границе пољопривредних парцела. Sobel филтер који је примењен на NIR спектрални канал, може да има вредности од 0 до максималне вредности дигиталног броја (DN_{max}). Дигитални број (eng. *Digital Number - DN*) представља вредност пиксела која је у случају 8-битног записа у распону од 0 до 255. Просторна расподела дигиталних бројева дефинише снимак и простор снимка. Фактор ефекта предеоног обрасца има распон вредности од 1 до 2 (Karydas, Panagos, 2018).

3.5. Примена статистичких и геостатистичких метода

За потребе израде овог рада коришћени су методи дескриптивне статистике, корелације и просте регресије. Наведене статистичке методе су примењене у оквиру статистичког програма STATGRAPHICS® Centurion XVIII. Поступак просте регресије примењен је за формирање статистичког модела који описује утицај једног квантитативног фактора на зависну променљиву.

Процена тачности резултата добијених даљинском детекцијом је анализирана на основу матрице конфузије и Карра статистике, који су описани у поглављу 3.1.1. Матрица конфузије представља примарни корак у процени тачности, на основу кога се примењује Карра статистика. Да би се утврдиле квалитативне и квантитативне промене земљишног покривача и проценила сличност између две анализирани карте, поред стандардне Карра статистике, примењена су и два нова статистичка индекса: Карра локација ($K_{Location}$) и Карра хистограм (K_{Histo}) (Pontius, 2000; Hagen, 2002).

Карра локација односи се на мерење сличности у просторној расподели категорија, у картама које се пореде. Овај индекс даје максималну сличност која се може наћи на основу укупног броја ћелија пиксела, за сваку посматрану категорију и прорачунава се према формули:

$$K_{Location} = \frac{P(O) - P(E)}{P(max) - P(E)}$$

$P(O)$ представља уочени део сагласности, који се добија према формули:

$$P(O) = \sum_{i=1}^n P_{ii}$$

$P(E)$ представља део сагласности за које се може очекивати да се појаве случајно, према формули:

$$P(E) = \sum_{i=1}^n p_{i+} \cdot p_{+i}$$

P (max) представља максимални део слагања с обзиром на расподелу величина класе и израчунава се према формули:

$$P(\max) = \sum_{i=1}^n \min(p_{i+}, p_{+i})$$

У односу на Карра локацију, која строго зависи од просторне расподеле категорија на карти, Карра хистограм зависи само од укупног броја ћелија које се налазе под сваком категоријом. Карра хистограм представља меру за квантитативну сличност која се може израчунати директно из хистограма две карте, применом формуле:

$$K_{\text{Histo}} = \frac{P(\max) - P(E)}{1 - P(E)}$$

Међусобни однос између стандардне Карра статистике, Карра хистограма и Карра локације, може се изразити применом једначине:

$$\text{Карра} = K_{\text{Histo}} \cdot K_{\text{Location}}$$

Вредности Карра локације су исте као и вредности стандардне Карра статистике: од -1 (нема никаквог слагања на просторној алокацији, односно промена) до + 1 (задовољавајуће слагање на просторној алокацији, односно, регистроване су промене). Карра хистограм има распон вредности између 0 и 1, где 1 указује на задовољавајуће слагање, док 0 указује да нема слагања у величинама посматраних категорија (Самарцић-Петровић, 2014).

Са развојем ГИС технологије, дошло је и до развоја савремених статистичких метода које омогућавају анализу векторских и растерских база података. На вишеслојним растерским базама примењена је матрица коваријансе и матрица корелације. Матрица коваријансе се састоји од варијансе и коваријансе. Варијанса представља просечно квадратно одступање, док је коваријанса мера заједничког варирања. Да би се прорачунале коваријансе између растерских слојева примењује се формула (Snedecor, Cochran, 1968; ESRI, 2011):

$$\text{Cov}_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^N (Z_{ik} - \mu_i) \cdot (Z_{jk} - \mu_j)}{N - 1}$$

Z-вредност ћелије;

i и j – слојеви;

μ – средња вредност ћелија;

N – број ћелија;

k – означава одређену ћелију.

Матрица корелације приказује вредности коефицијената корелације које се односе на везу између два скупа података. У случају скупа растерских слојева, матрица корелације представља вредности ћелија из једног растерског слоја, која се односи на вредности ћелија

другог слоја. Корелација између два слоја је мера зависности између слојева и рачуна се применом следеће формуле:

$$\text{Corr}_{ij} = \frac{\text{Cov}_{ij}}{\delta_i \delta_j}$$

δ_i – стандардно одступање i слоја;

δ_j – стандардно одступање j слоја.

Корелација има распон вредности од +1 до -1. Вредности са позитивном корелацијом приказују директну везу између два слоја, док вредности са негативном корелацијом приказују директну неповезаност.

Да би се релевантно одредили параметари у процени губитака земљишта од ерозије, у раду су примењене интерполацијске методе. Методе интерполације представљају поступак процене вредности циљне променљиве на било којој просторној или временској локацији где циљна променљива није измерена (Kilibarda, 2013). До данас је развијено више различитих метода интерполација за детерминацију просторних и временских варијабилности природних ентитета и појава као што су карактеристике земљишта, метеоролошки показатељи, квантитативни параметри рељефа и сл. За потребе докторске дисертације коришћена је метода интерполације инверзним дистанцама (енг. *inverse distance weighting – IDW*) за потребе приказа количине падавина на основу измерених података са метеоролошких станица. Метода IDW процењује вредност променљиве на неистраживаним локацијама коришћењем измерених вредности на истраженим локацијама. Пондерисане вредности одређују се применом формуле (Bonham-Carter, 1994; Johnston et al., 2001):

$$\hat{z}(x_o) = \frac{\sum_{i=1}^n z(x_i) \cdot d_{ij}^{-r}}{\sum_{i=1}^n d_{ij}^{-r}}$$

Где је:

x_o – интерполована вредност;

$z(x_i)$ – измерена вредност на локацији x_i ;

n – укупан број посматрања коришћен за интерполацију;

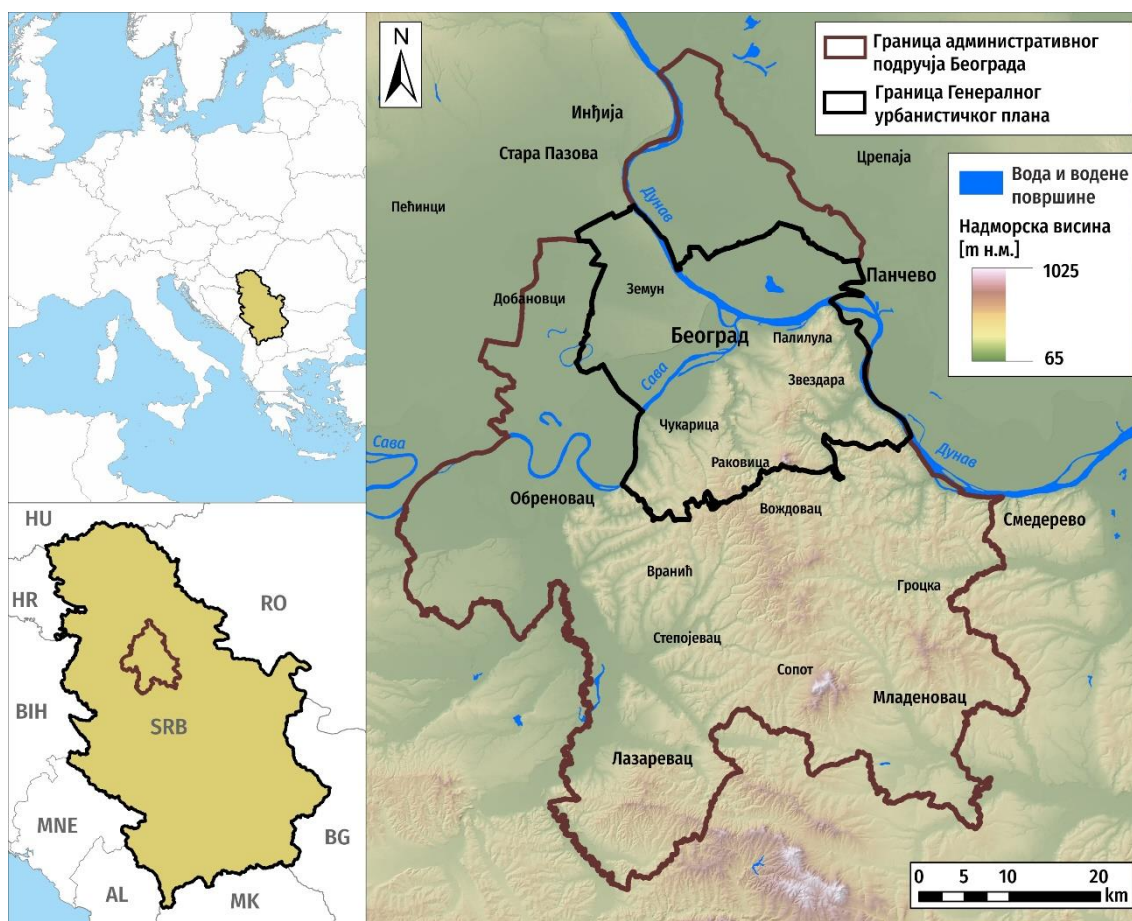
r –тежински параметар;

d_{ij} – удаљеност између вредности која се интерполује и измерене вредности.

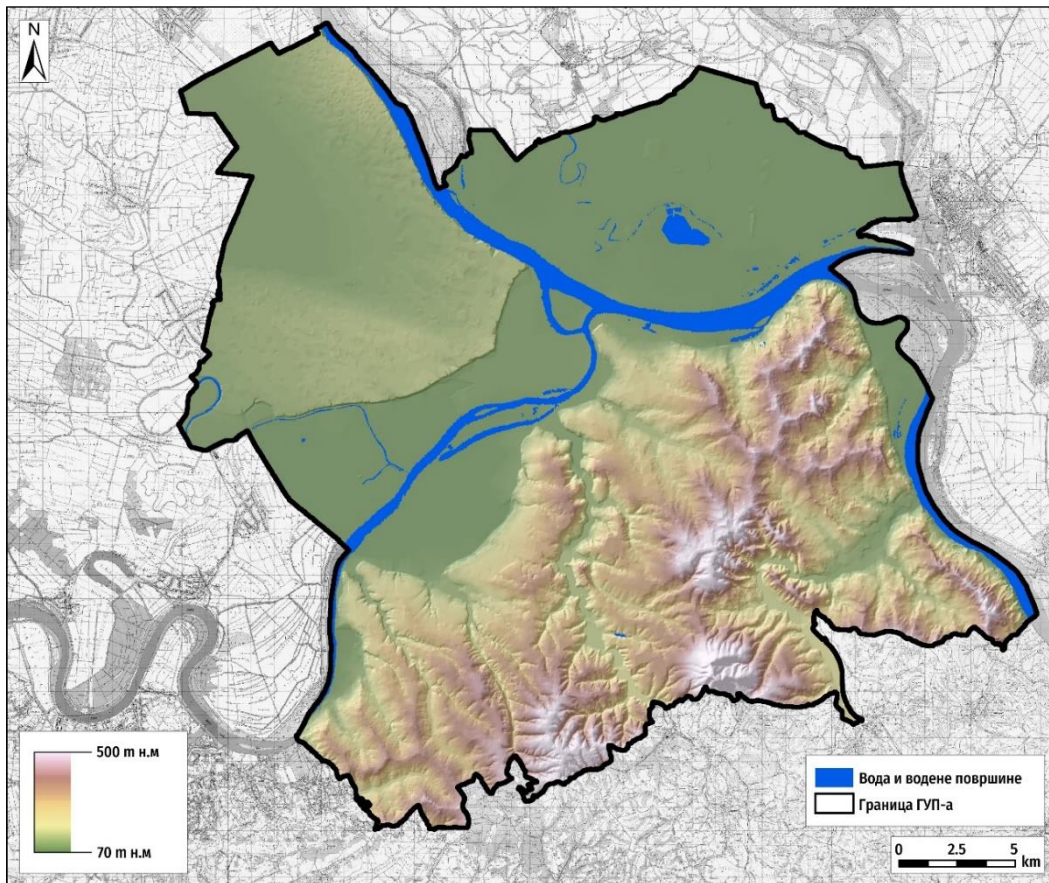
4. МАТЕРИЈАЛ РАДА (ОПИС РЕЛЕВАТНИХ ФАКТОРА)

4.1. Географски положај и просторна стратификација

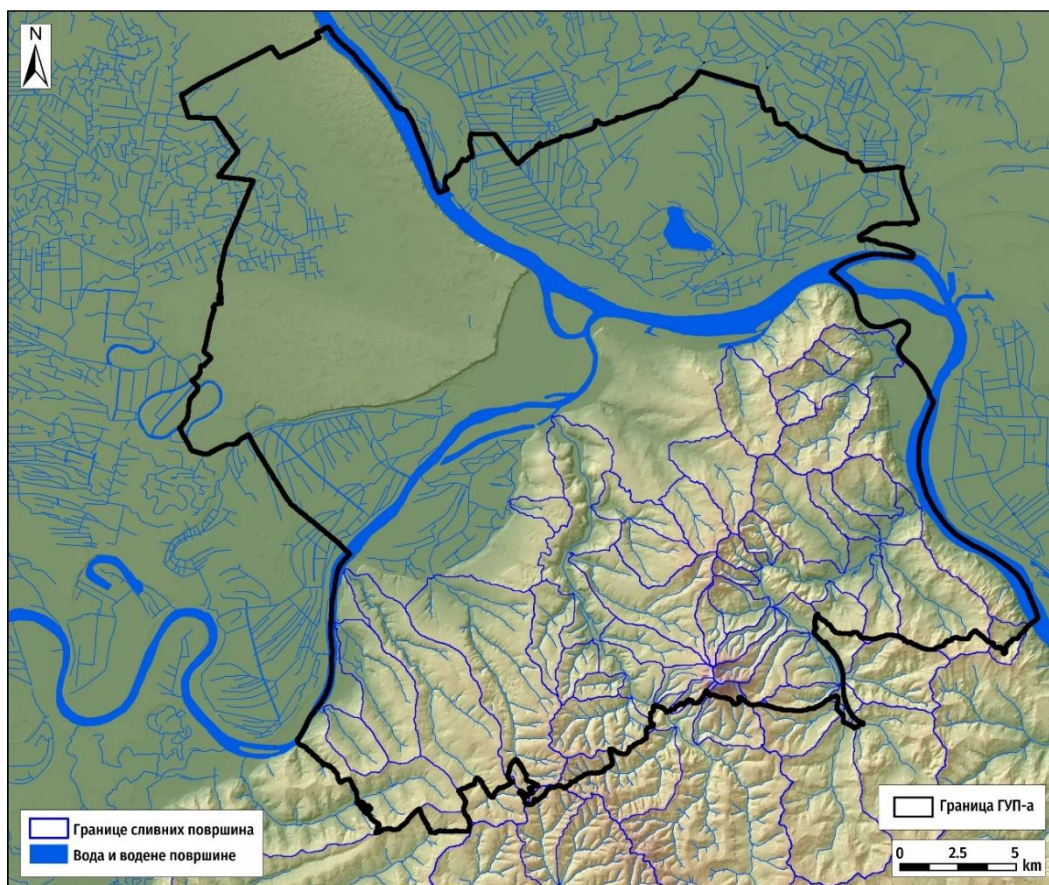
Подручје Генералног урбанистичког плана (ГУП) Београда заузима површину од 778,52 km² и простире се на деловима три географске јединице: источног Срема, југозападног Баната и северне Шумадије. Део територије Београда северно и североисточно од Дунава географски припада Банату, западно од Саве и Дунава географски припада Срему, а јужно од Дунава на делу тока после ушћа Саве, као и источно и јужно од Саве географски припада Шумадији (Слика 4.1.). Рељеф истраживаног подручја се састоји из две изразито различите, међусобно јасно раздвојене рељефне целине. Северни део подручја ГУП-а простире се у равничарском пределу, док јужни део подручја представља разуђени, брдско-планински рељеф. Границу раздвајања ове две рељефне целине представљају велике реке, Дунав и Сава. Просечна надморска висина терена на територији ГУП-а износи 120,23 m н.м., са распоном вредности од 70 до 500 m н.м. (Слика 4.2.). На подручју северно од Саве и Дунава, просечна надморска висина износи 79,06 m н.м., док подручје јужно од Саве и Дунава, има просечну надморску висину од 155,05 m н.м. Хидрографска мрежа на територији Београда је добро развијена на брдско-планинском подручју, за разлику од равничарског. На брдско-планинском делу терена, поред сталних водотокова присутни су и бројни повремени водотокови. Већина мањих водотокова, сталних и повремених, има веома неуравнотежен хидролошки режим бујичног карактера. Равничарски део територије има развијену мрежу дренажних канала, мањи број равничарских река, као и напуштена корита некадашњих водотокова, у форми мртваја и бара (Слика 4.3.).



Слика 4.1. Шира просторна локација Генералног урбанистичког плана Београда

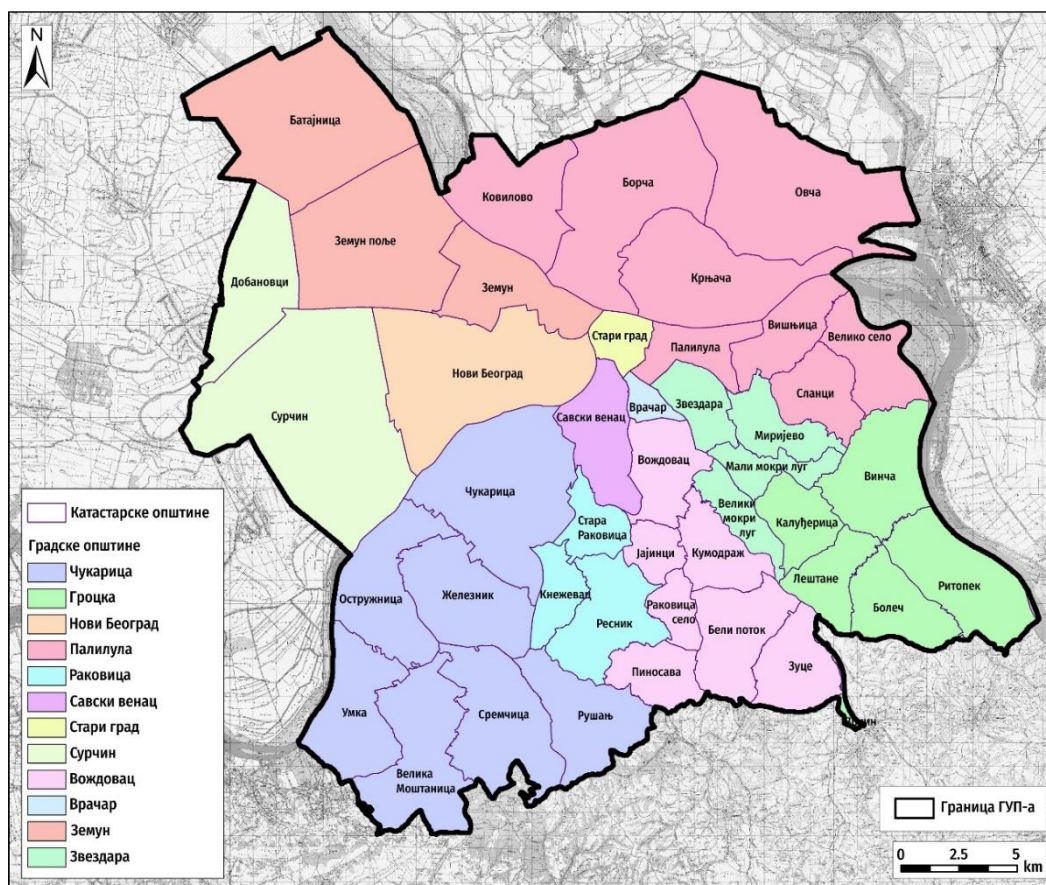


Слика 4.2. Просторни распоред надморских висина истраживаног подручја



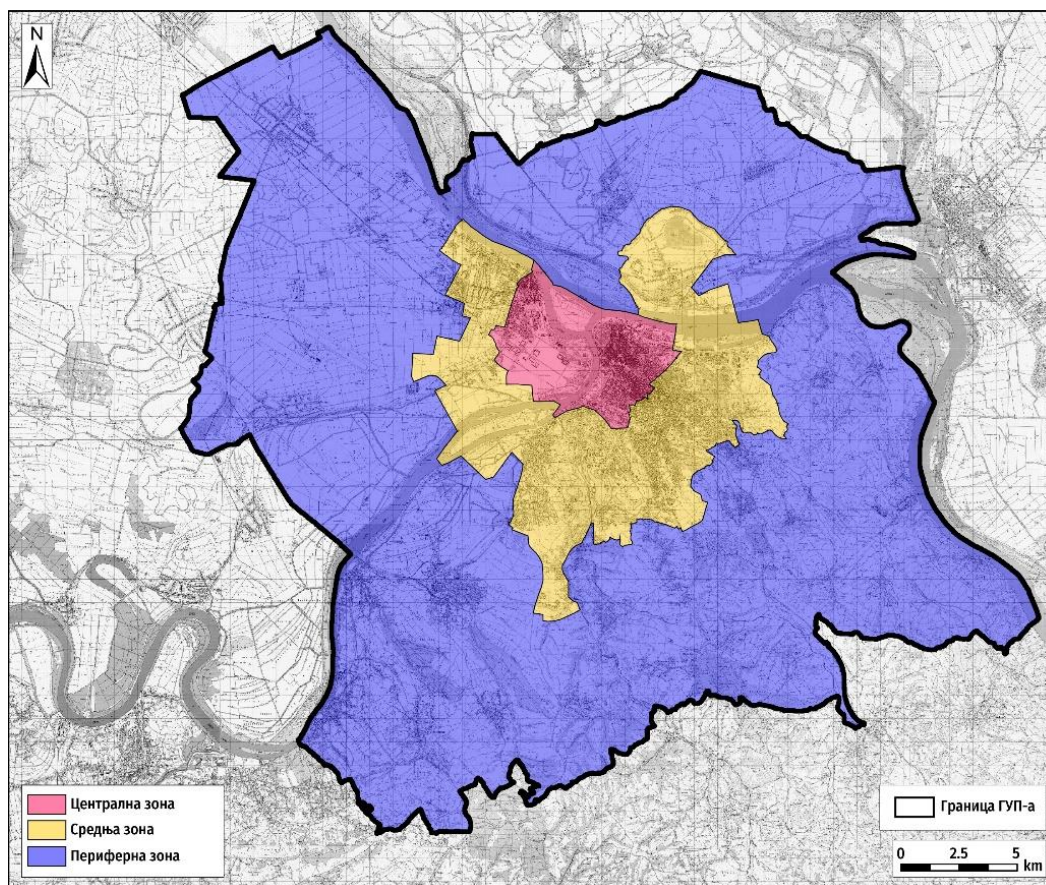
Слика 4.3. Хидрографска мрежа истраживаног подручја

Истраживано подручје обухвата 12 градских и 44 катастарске општине, у целости или делимично (Слика 4.4.). У целости су обухваћене градске општине Стари град, Врачар, Звездара, Савски венац, Раковица, Чукарица и Нови Београд, а делимично градске општине Вождовац, Палилула, Земун, Сурчин и Гроцка.



Слика 4.4. Границе градских и катастарских општине на истраживаном подручју

Генералним урбанистичким планом Београда (Урбанистички завод Београда, 2016) издвојене су три просторне зоне: централна (32,44 km²); средња (115,04 km²); периферна (631,04 km²) (Слика 4.5.). Подручје централне зоне се састоји од површина које су доминантно урбанизоване и јавно градског карактера, са компактним урбаним ткивом и комплексним и вешеслојним наменама и функцијама. Средња зона представља подручје са континуално изграђеним простором града, и обухвата комплексе стамбених целина, затим концентрисане урбане садржаје уз главне саобраћајнице, као и површине са већим степеном порозних и зелених површина и мањим нивоима компактне урбане структуре. Главне карактеристике периферне зоне су претежно породична стамбена изградња која је организована у виду енклава, које могу бити и подручја са непланском, често нелегалном изградњом. Ова подручја имају слабу саобраћајну доступност, оскудну комуналну инфраструктуру, са већим степеном порозних површина као што су пољопривредна и шумска земљишта. Периферне зоне у појединим деловима садрже приградска и сеоска насеља.



Слика 4.5. Просторне зоне Генералног урбанистичког плана Београда

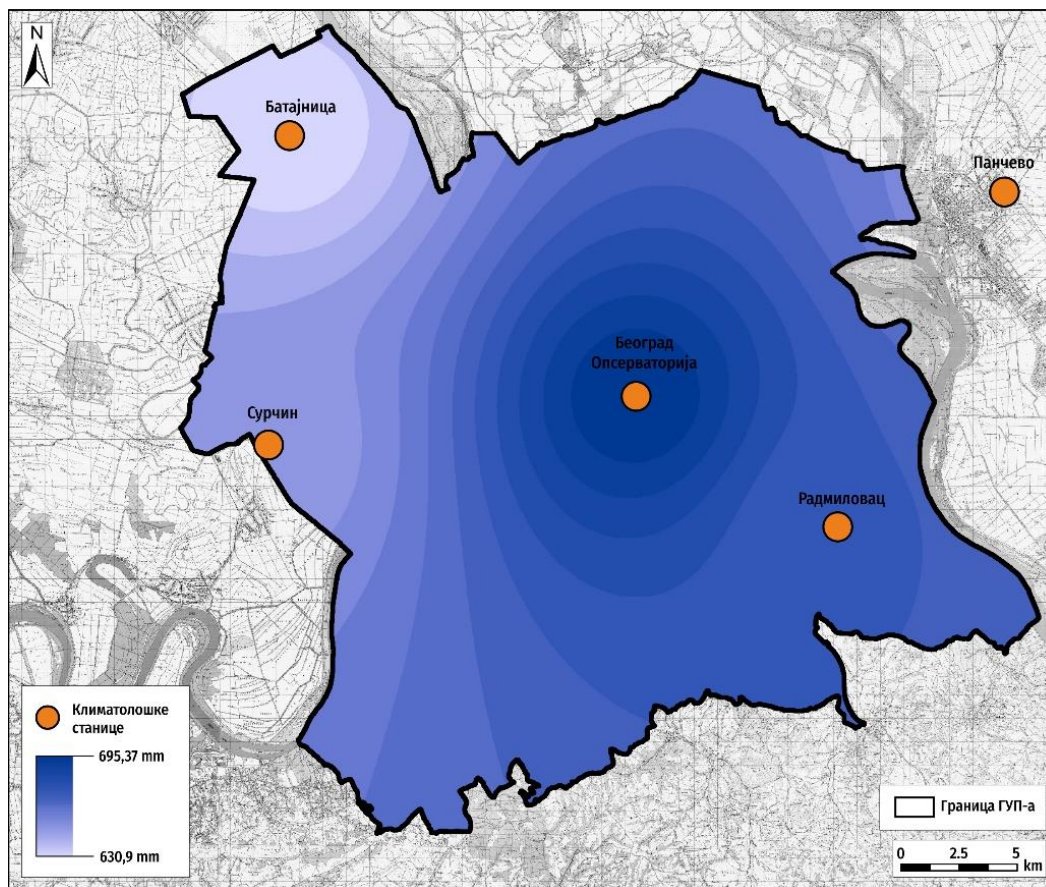
4.2. Климатске карактеристике

Београд са широм околином има одлике умерено континенталне климе, која је прелазна форма између климата Средоземља и области Карпата. Обилне падавине доносе циклони из западног Средоземља, који се премештају на североисток преко Аустрије и источне Европе или на исток долином Саве и Дунава, као и локалне летње непогоде. Почетком маја јављају се продори влажног и хладног ваздуха. Месеци мај и јуни имају највећу количину падавина, са честом појавом локалних пљускова и грмљавина. Током лета се јављају краћи или дужи сушни периоди, а чести су топли периоди почетком јесени (Ункашевић, 1994). Иако овај тип климе одликује појава четири годишња доба, евидентан је динамичан, континентални pluviometriјски режим са честом појавом екстремно високих падавина, које са наглим топљењем снега могу довести до појаве деструктивних бујичних поплава.

За потребе ове докторске дисертације, анализирани су падавине и температура ваздуха за два временска периода. Први период обухвата време од 1971. до 2001. године, са климатским подацима добијеним обрадом података мерења са метеоролошких станица. Други временски период (2046-2065) обухвата симулацију промена климатских параметара коришћењем климатских модела из EURO-CORDEX базе (Ђурђевић и сар., 2018).

Месечне и годишње висине падавина, за први временски период, добијене су на основу обраде података са 5 метеоролошких станица које се налазе у околини истраживаног подручја: Београд Опсерваторија, Батајница, Панчево, Радмиловац и Сурчин. Климатски подаци су преузети са сајта Републичког Хидрометеоролошког Завода Републике Србије (РХМЗ), док је њихова просторна дистрибуција одређена применом геостатистичке методе интерполације IDW (inverse distance weighted). Просечна годишња количина падавина на истраживаном подручју износи 664,72 mm. Најмања просечна годишња количина падавина забележена је на

метеоролошкој станици Батајница и износи 630,9 mm, док је највећа количина падавина измерена на метеоролошкој станици Београд Опсерваторија и износи 695,37 mm (Слика 4.6.). Температура ваздуха је анализирана на основу података са метеоролошке станице Београд Опсерваторија, која је лоцирана у центру истраживаног подручја. Просечна средња годишња температура ваздуха износи 12,07 °C.

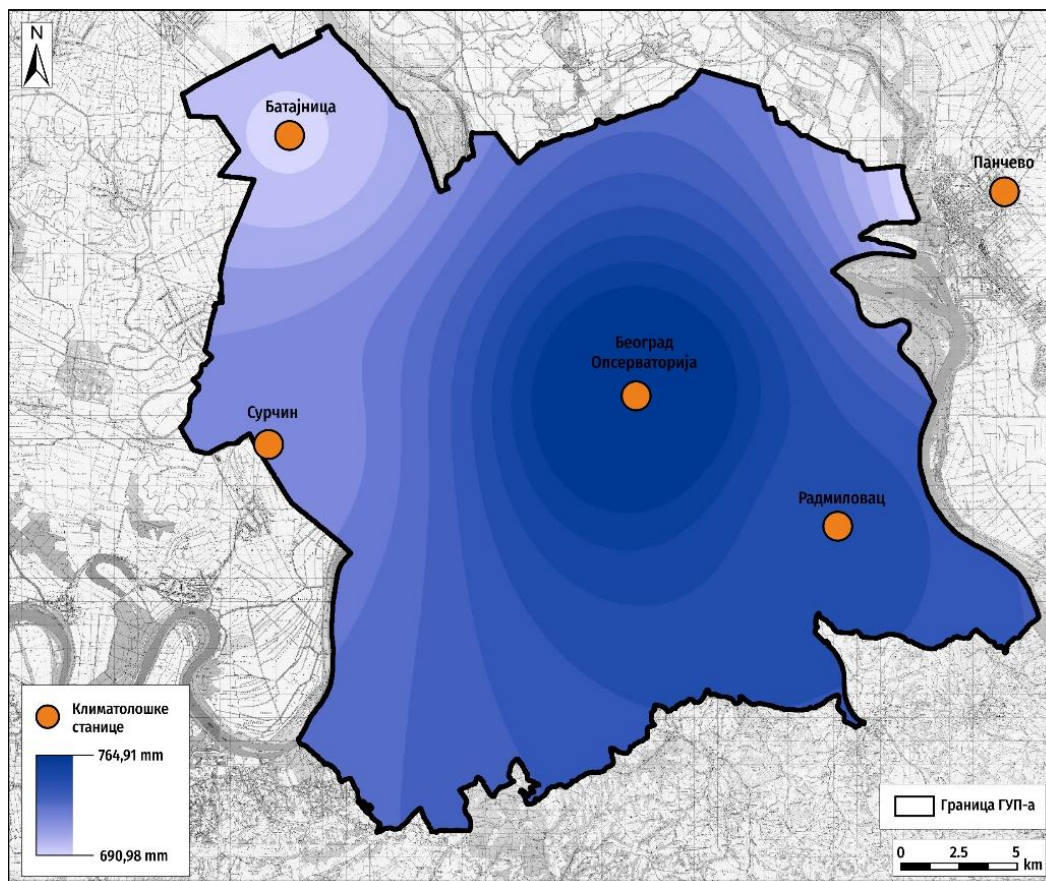


Слика 4.6. Просторни распоред средње годишње количине падавина за период од 1971. до 2001. године

Климатске промене постају све интензивније и представљају један од највећих изазова у XXI веку (IPCC, 2007; Trenberth, 2011). Климатске карактеристике се мењају и очекује се да ће климатске аномалије довести до снажнијих промена у животној средини, укључујући и ерозију земљишта (Gianinetto et al., 2020), због чега је и обављена симулација промена климатских параметара за период средина века (2046-2065). Анализа будућих промена климе је усклађена са последњим, петим извештајем Међународног панела о климатским променама (Ђурђевић и сар., 2018; Стричевић и сар., 2019). Симулацију климатских параметара, аутори Ђурђевић и сарадници су радили на основу EURO-CORDEX базе података за три будућа периода: 2016-2035 (блиска будућност), 2046-2065 (средина века) и 2081-2100 (крај века), на основу референтог (базног периода): 1986-2005. Будући периоди су анализирани према два изабрана RCP (енг. *Representative Concentration Pathways* - репрезентативно кретање концентрација) сценарија емисија гасова стаклене баште: RCP4.5 (стабилизациони сценарио, који предвиђа стабилизацију емисија од 2040. године) и RCP8.5 (сценарио константног пораста). Оба приказана сценарија обухватају највероватнији опсег могућих будућих исхода (Ђурђевић и сар., 2018, Стричевић и сар., 2019).

Процена могућих утицаја промена климатских карактеристика извршена је коришћењем анализе преклапања (енг. *overlay method*) података о температурама и падавинама, за период средине века (2046-2065), са картом просторног обухвата ГУП-а. Промене климатских карактеристика су анализирани применом RCP8.5 климатског сценарија (сценарио

константног пораста емисија гасова стаклене баште) који је очекиван за средину XXI века (2046-2065). Према RCP8.5 климатском сценарију, очекује се да ће повећање температуре ваздуха у односу на референтни (базни) период бити 2°C. У погледу средњих годишњих сума падавина, очекује се пораст средње годишње суме падавина за 3,8%. Према RCP8.5 сценарију, на истраживаном подручју процењен је пораст средње годишње температуре ваздуха, до максималне вредности 14,07 °C, док се очекује пораст просечне годишње количине падавина од 5% до 10%. Просторни распоред је анализиран применом IDW методе, а детерминисана је просечна годишња количина падавина од 728,57 mm, за период 2046-2065. година (Слика 4.7.).



Слика 4.7. Просторни распоред средње годишње количине падавина према RCP8.5 климатском сценарију

4.3. Геоморфолошки услови средине

4.3.1. Геоморфолошки облици рељефа

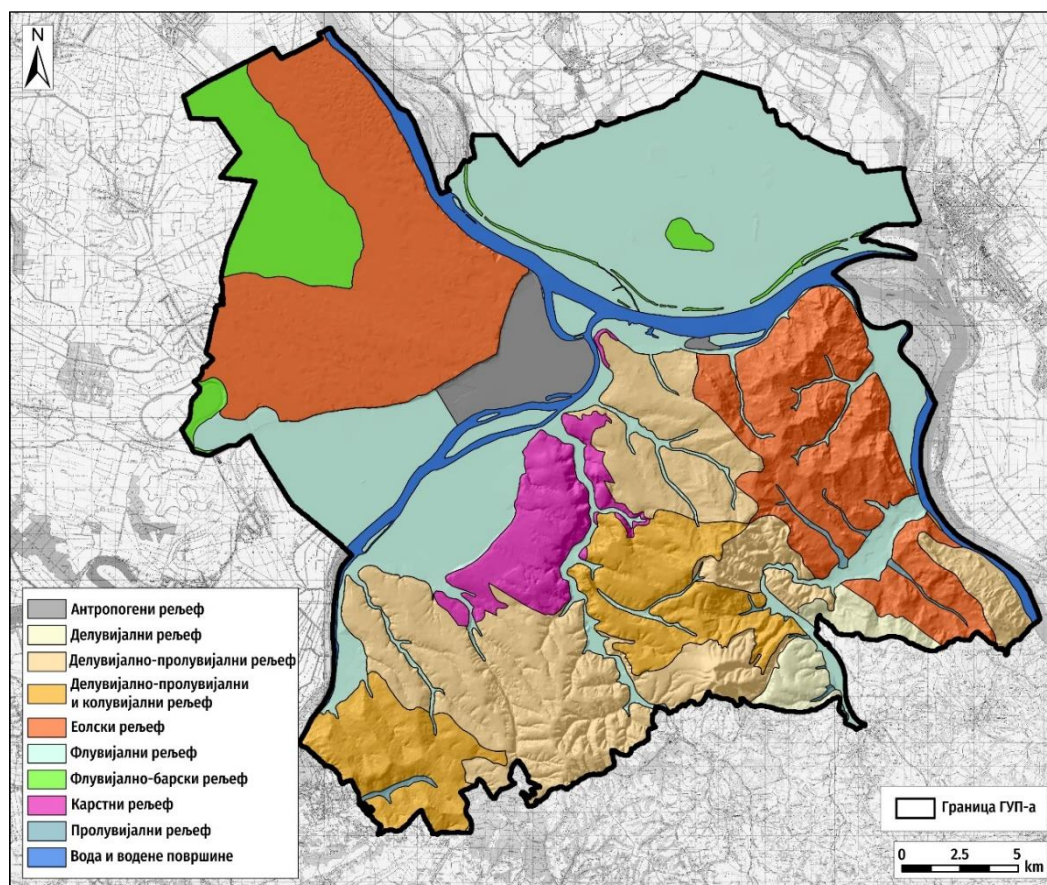
Геолошка грађа терена истраживаног подручја је сложена и комплексна, пре свега због различитости литолошког састава стенских маса које граде терен, њиховог просторног односа, стратиграфске припадности (геолошке старости), дејства различитих егзогених агенаса. У литолошком погледу, на територији ГУП-а заступљене су магматске, седиментне и метаморфне стене које припадају палеозојској, мезозојској и кенозојској ери. За потребе овог рада, коришћена је геоморфолошка карта, која је представљала есенцијални извор података у анализи улазних параметара за примену ерозионих метода и модела.

Геоморфолошка карта је урађена на основу спроведених кабинетских истраживања, односно коришћењем доступних авиоснимака, сателитских снимака, топографских карата (размера од 1:25.000 до 1:100.000), геолошких карата (размере 1:100.000), разних модела рељефа (дигиталног елевационог модела), публикованих радова и др. У процесу израде наменске геоморфолошке карте примењен је генетски принцип класификације типова рељефа (Никић и

сар., 2020). Издвајање типа рељефа извршено је према геоморфолошком процесу, односно његовом агенсу, у којем је настао. Издвојени и на карти приказани типови рељефа обједињују морфолошке облике који су настали у активностима доминантног геоморфолошког процеса. На подручју ГУП-а идентификовани су једино егзогени процеси. Од егзогених процеса на предметној карти приказани су следећи облици рељефа: флувијално-барски, флувијални, еолски, делувијални, пролувијални, делувијално-пролувијални, карстни, и делувијално-пролувијални и колувијални. Површинска заступљеност геоморфолошких облика рељефа дата је у табели 4.1., док је просторни распоред приказан на слици 4.8.

Табела 4.1. Геоморфолошки облици рељефа на истраживаном подручју

Облици рељефа	km ²	%
Антропогени рељеф	20,36	2,61
Делувијални рељеф	13,86	1,78
Делувијално- пролувијални рељеф	140,13	18,00
Делувијално-пролувијални и колувијални рељеф	68,34	8,78
Еолски рељеф	190,78	24,51
Флувијални рељеф	233,00	29,93
Флувијално-барски рељеф	43,44	5,58
Карстни рељеф	31,00	3,98
Пролувијални рељеф	3,32	0,43
Вода и водене површине	34,32	4,41
Укупно	778,54	100,00



Слика 4.8. Геоморфолошки облици рељефа на истраживаном подручју

Карстни рељеф и карстни процес на истраживаном подручју везан је за две групе карбонатних стена које се разликују према стратиграфској припадности. Старије карбонатне

стене су мезозојске старости, а млађе су неогене старости. Укупна површина карстног рељефа на територији ГУП-а (мезозојског и неогеног) је 31,00 km², односно 3,98% површине истраживаног подручја. Мезозојској ери припадају карбонатне творевине које стратиграфски припадају доњем тријасу и доњој и горњој креди. На територији ГУП-а, мезозојске карбонатне творевине имају релативно мало распрострањење. Карбонати доњег тријаса литолошки су представљени слојевитим и банковитим кречњацима и лискуновитим пешчарима. Карбонати горње креде (ценомански кат) заступљени су фацијом кречњака и фацијом пешчара и лапорца. Карбонатне творевине неогена припадају средњем и горњем миоцену. Литолошки су представљени кречњацима тортона и сармата. На површини терена имају нешто већу заступљеност у односу на мезозојске.

Флувијално-барски рељеф има полигенетско обележје. Формиран је у више наврата сменом флувијалног и барског процеса током прве половине плеистоцена. По површинском распрострањењу, то су били значајни простори и изван територије Београда на којима је у воденој средини вршено таложење еолске прашине. Након исушивања водених површина, депоновање еолске прашине настављено је преко алувијалног алеврита и песка на сувом тлу. Терен је изграђен од песковитих глина, лесоидних глина и прашинастих пескова. Међутим, на већем делу површине овог дела терена преовлађују глиновите стене чиме је омогућено присуство бројних бара и мочварних делова. До физичког раздвајања простране флувијално-барске низије на две целине, посматрано у односу на савремени ток Саве, дошло је током процеса усецања Саве и формирања њене савремене широке алувијалне равни. Укупна површина флувијално-барског рељефа на територији Београда износи 43,44 km², односно 5,58% површине истраживаног подручја. На читавом подручју флувијално-барског рељефа присутне су бројне баре, мртваје и мочварни терени као последица комбинованог дејства флувијалног и барског процеса. Мање баре и мочварни терени су присутни у плитким депресијама у којима се стварају органогено-барски седименти. На флувијално-барској низији која се налази на левој обали Саве изграђени су бројни мелиоративни канали.

Флувијални рељеф је генетски везан за механичко дејство вода сталних речних токова, на нерастворљиве стене, где су стални водотокови сврстани у три категорије. У прву категорију спадају велике реке: Дунав и Сава. Ови водотоци представљају главне ерозионе базисе. У другу категорију спадају водотокови који дотичу са брдско-планинског простора „шумадијске мезозојске греде“ и уливају се у Дунав и Саву. У трећу категорију спадају равничарски водотоци са простора северно од Дунава и западно од Саве. Водотоци друге и треће категорије представљају локалне ерозионе базисе. Сви стални водотокови на територији града Београда учествују у флувијалном геоморфолошком процесу. Најзначајнији ерозиони морфолошки облик флувијалног процеса јесте речна долина. У рељефу терена речна долина представља карактеристичну, типичну, отворену линеарну депресију с падом у једном правцу и са јако израженом димензијом дужине у односу на ширину и дубину. С друге стране, најзначајнији акумулациони облици флувијалног процеса се деле на акумулационе морфолошке облике формиране на дну речне долине и акумулационе облике флувијалног процеса формиране у кориту водотока. Рељефно најзначајнији акумулациони облици флувијалног процеса на дну долине јесу алувијалне равни и речне терасе које су формиране дуж речног тока, а у речном кориту то су аде, плаже и спрудови.

Велике количине вода које протичу Дунавом и Савом, као и велике количине материјала који оне транспортују, омогућили су формирање моћних алувијалних равни у морфолошки повољним условима. Алувијалне равни представљају заравњен терен који се простире са обе или само са једне долинске стране речног корита, ширине од неколико десетина километара до неколико стотина метара, моћности до неколико десетина метара. Речни ток формиран на алувијалној равни може да мења свој правац, формирајући кривине или меандре. Као последица тих промена речног тока на алувијалним равнима уочљиви су трагови старих

корита, у виду мртваја, старача, бара и замочварених терена. У самом речном кориту, у зонама где долази до слабљења кинетичке енергије водотока долази до одлагања вученог и суспендованог материјала и формирања ада и спрудови, као и плажа на речним обалама и адама. У процесу формирања алувијалне равни речне воде су, поред одлагања ношеног материјала, вршиле и еродирање матичне стене у подини, на дну речног корита, али и у бочним долинским странама водотока. На тај начин, у повољним геолошким условима по ободу алувијалне равни, формиран су у чврстим стенама морфолошки изражени облици у виду субвертикалних одсека. Дужине ових одсека могу бити по више стотина метара, висине пар десетина метара.

На брдско-планинском простору шумадијске мезозојске греде формирају се стални водотокови, чији просечни протицаји варирају у распону од неколико литара до неколико стотина литара у секунди. Већина њих је бујичног карактера са честим плављењима приобаља, а количине материјала који носе у том периоду су јако велике. Долине су им релативно уске и представљају карактеристичну отворену линијску депресију са израженом димензијом дужине у односу на ширину и дубину. Њихове алувијалне равни су ширине до стотинак, моћности до неколико метара, а изграђене су од слабије заобљене до заобљене фракције шљунка и песка и фракције глина. Корита ових река обично су усечена у алувијални нанос, а у коритима су бројни спрудови и аде мањих димензија. У трећу категорију водотока на подручју ГУП-а, сврстане су реке које теку равничарским делом терена, на простору северно од Дунава и западно од Саве. Ови водотоци су типично равничарски, са мирним режимом протицаја, са честим кривинама и меандрима, малим протицајима и ретким плављењем приобаља. Долине су им формиране у алувијалним равнима већих водотока у које се и уливају. Дно корита ових водотока често је у зони изданих вода. Због тога имају улогу мелиорационих канала, а протицај се доминантно формира на рачун подземних вода. Укупна, збирна, површина флувијалног рељефа (алувијалне равни, речне терасе, аде, плаже, мртваје, баре), износи 233 km², односно 29,93 % површине ГУП-а.

Еолски рељеф на територији ГУП-а има значајно површинско распрострањење (на другом месту одмах после флувијалног рељефа). Укупна површина еолског рељефа, на истраживаном подручју, износи око 190,78 km², односно 24,51% површине ГУП-а. Главни елемент овог рељефа јесу еолске творевине које су литолошки представљене лесом и лесоидним седиментима. Генетски, лес је седиментна стена која је формирана непосредним дејством ветра. Честице величине фракција прашине и праха, одлагане су у зонама где је ветар губио кинетичку енергију или наиласком на препреке у виду хорстовских структура (нпр. обод београдског побрђа). У зависности од терена и услова у којима се седиментација еолског материјала вршила стваран је барски лес, копнени лес и лесоидни седименти. Током плеистоцена, за време хладних периода формиране су лесне наслаге моћности неколико десетина метара. Некада су заузимале знатно веће пространство на територији Београда. Међутим, флувијални и пролувијални процес вршили су непрекидно еродирање и преталожавање лесног материјала. На тај начин значајно је умањена зона његовог простирања на територији Београда.

На простору ГУП-а лесни рељеф је издвојен на сремском делу територије и у зони дунавског кључа. У морфолошком погледу лесне творевине обично заузимају хипсометријски истакнутије делове терена. Лесни плато на сремском делу ГУП-а, односно западно од Новог Београда, са југоисточне и североисточне стране, тј. са дунавске стране, ограничен је стрмим лесним одсеком висине до тридесетак метара. Овај одсек настао је поткопавањем лесног платоа водама Дунава. Са јужне и источне стране, на потезу од Новог Београда до Сурчина лесни плато је ограничен алувијалном равни Саве, а са северне и западне стране флувијално-барском низијом. Апсолутна висина лесног платоа је од око 87 m до 105 m н.м. Од јужног обода који је хипсометријски виши, лесни плато поступно прелази према северу и западу у

флувијално-барску низију која је са kotaма око 77 m до 79 m. У морфолошком погледу лесни плато има карактеристике еолског рељефа. По површини се налазе плитка тањираста удубљења, слична вртачама, која су настала издувавањем прашинастих честица, као и плитке удолице настале дуж повремених токова. Сталних водотокова на лесном платоу нема. Захваљујући израженој порозности леса атмосферске воде се инфилтрирају у подземље или краткотрајно сакупљају у плитким депресијама и затим процеђују у лес. Површина лесног платоа западно од Новог Београда износи 112,46 km², односно 14,44% од укупне површине ГУП-а.

У зони дунавског кључа, на потезу од Вишњице на северу па до Болеча на југу, значајније је развиће леса. Морфологија овог терена је нешто израженија, са надморским висинама у распону од око 140 m до 250 m н.м. Лес има повећани садржај глиновите компоненте и променљиве је моћности. Веће моћности је на северном делу, на простору Вишњице, Карабурме и Сланаца, где је постојало више циглана за производњу грађевинског материјала које су као сировину користиле лес. На више места лес је еродираан, а на површини терена су изданци његове неогене подлоге. Због изражене морфологије и тањег слоја леса у чијој подини су водонепропусне неогене глине, на неколико места формирана су клизишта. Већа клизишта се налазе на Карабурми и Звездари, док су бројне мање јаруге, дубине до пола метра и дужине неколико метара, регистроване на стрмијим падинама Звездаре и Сланаца. Појава извора мале издашности последица је постојања локалних фреатских издани формираних у оквиру леса, а које се дренажују у зони контакта леса са водонепропусним неогеним глинама. Стални водотоци на овом простору су: Миријевски поток и Манастирска река са притокама. Преко овог терена протиче доњим током и Завојничка река. Сви водотоци су са релативно уским алувијалним равнима и директно се уливају у Дунав. Површина лесног рељефа у дунавском кључу износи 78,31 km², односно 10,05% од укупне истраживане површине.

Делувијални рељеф на истраживаном подручју развијен је на источним падинама Авале. Укупна површина делувијалног рељефа у оквиру ГУП-а износи 13,86 km², односно 1,78% од укупне истраживане површине. На источним падинама Авале делувијални рељеф се простире у виду појаса, правцем североисток – југозапад, у плиткој депресији чијим средишњим делом протиче Завојничка река. Делувијални застор формиран је на стрмој падини коју граде нерастворљиве стене, серпентинити, а делом кредне и неогене творевине. Делувијални процес се одвија приликом дифузног сливања повремених неконцентрисаних површинских токова, после интензивних падавина или отапања снежног покривача. Сливањем вода по површини обавља се спирање растреситог материјала насталог у елувијалном процесу. Изграђен је од алевролитско-глиновитих честица и ретко крупнијих комада. Сортирање честица према крупноћи је јако слабо заступљено. Преко делувијалног застора са источних падина Авале дотиче више малих и релативно кратких повремених водотокова који се уливају у Завојничку реку.

Пролувијални рељеф и облици који су генетски везани за пролувијални процес налазе се на простору ГУП-а јужно од Дунава и Саве. Пролувијални процес заступљен је дуж повремених водотокова који се јављају на падинама изграђеним од нерастворљивих стена. Осим литологије, на развој овог процеса значајан утицај има климатски елемент у виду врсте, распореда, количине и интензитета падавина, затим нагиб падина, вегетација, као и човек својим активностима у сливу. Моменат преласка из дифузног спирања вода у повремени линијски ток, у зависности је од претходно наведених фактора.

Важна карактеристика пролувијалног процеса јесте да се развија само на падинама, просторно и временски је ограничен, а обновљив је у кратким временским интервалима. Његово изразито разорно ерозионо дејство јавља се у случају настајања бујица и бујичних поплава. Повремени токови се уливају у веће повремене или сталне водотоке у које уносе значајне количине еродирааног материјала. Основни ерозиони облик пролувијалног процеса јесте јаруга, а

акумулациони облик је плавинска лепеза. Димензије јаруга су различите, могу бити дужине стотинак метара, ширине до два метра, дубине до једног метра. После интензивних падавина на водонепропусним и нерастворљивим стенама може доћи до брзог формирања бујичних токова велике ерозионе снаге. Укупна површина пролувијалног рељефа, на територији ГУП-а, износи око 3,31 km², односно 0,42% од укупне истраживане површине.

Делувијално-пролувијални рељеф налази се на простору јужно од Саве и Дунава. Овим заједничким називом рељефа обухваћени су геоморфолошки процеси који су генетски везани за спирање и јаружање, односно за делувијални и пролувијални процес. Оба процеса припадају групи падинских и одвијају се обично удружено. Интензитет развоја делувијално-пролувијалног процеса је у зависности од нагиба падине, литолошког састава терена, количине и интензитета падавина, наглог топљења снега, вегетације и активности човека. Јавља се на падинама изграђеним од нерастворљивих стена које су подложне физичко-хемијском распадању. На подручју ГУП-а ерозиони облик делувијално-пролувијалног процеса је јаруга, а акумулациони облик је делувијално-пролувијални застор. Моћност застора је различита и може износити неколико метара. Укупна површина делувијално-пролувијалног рељефа, на истраживаном простору износи 140,13 km², односно 18% од укупне површине ГУП-а. Према интензитету делувијално-пролувијалног процеса на територији ГУП, издвојена су три типа овог процеса: интензиван делувијално-пролувијални процес; умерен делувијално-пролувијални процес и слаб делувијално-пролувијални процес.

Интензиван делувијално-пролувијални процес развијен је на западној падини Авале. Ови терени имају наглашено стрме падине, које су грађене од стенских маса слабо растворљивих и водонепропусних. Делувијално-пролувијални процес умереног интензитета присутан је у деловима Железника, Сремчице и Ритопека, на теренима са мање стрмим падинама. Делувијално-пролувијални процес слабог интензитета развијен је на теренима који имају мали нагиб падинских страна. На подручју ГУП-а издвојен је на простору централне урбане зоне града, на потезу од Калемегданског одсека на северу до Малог Мокрог Луга на југоистоку.

Делувијално-пролувијални и колувијални рељеф јављају се како на природним падинама и странама тако и на косинама које су измењене услед људских активности. Специфичност колувијалног процеса јесте присутност на малим површинама, од неколико десетина квадратних метара до неколико хектара. На простору Београда, од колувијалних облика најчешће су заступљене појаве клизишта. Овај вид нестабилности терена последица је пре свега литолошке разноврсности плеистоценских и горњомиоценских творевина, хидрогеолошких услова и рељефа на датом простору. Клизиште у целини, било јединствено или сложено од више мањих клизишта, представља сложен геоморфолошки облик код којег се не могу раздвојити ерозиони елементи од акумулационих елемената. Појаве клизишта на територији Београда су релативно честе. Последица су повољних природних услова за њихово појављивање, али делом и антропогених активности. Клизишта се појављују на падинама изграђеним од неогених и квартарних седимента где подземне воде одлучујуће доприносе клизању по водонепропусном слоју. Дубина клизне равни је обично на 1-3 m, односно 5-10 m, ретко већа. Укупна површина делувијално-пролувијалног и колувијалног рељефа, на територији ГУП-а, износи око 68,34 km², односно 8,78% од укупне површине.

Антропогени рељеф обухвата облике везане за непосредно дејство човека на површину терена. Интензивна изградња за последицу има значаје морфолошке, рељефне промене терена. На геоморфолошкој карти приказани су поједини, карактеристични облици антропогеног рељефа као што су: урбане површине, терен насут рефулираним песком, депоније комуналног отпада. Под урбаним површинама се подразумевају градске целине, где су заустављени егзогени геоморфолошки процеси. Ови простори могу имати знатну површину и јављају се у централном делу Београда, као и на Новом Београду. Антропогени рељеф је представљен,

између осталог, површинама које су створене за потребе изградње, насипањем рефулираног песка равнањем, нивелисањем, на основу чега је дошло до издизање коте оригиналног изгледа терена. Веће комуналне депоније су затворена на Ади Хуји, активна у Винчи и друге. На геоморфолошкој карти укупна површина антропогеног рељефа износи 20,36 km² односно 2,61% од истраживане површине.

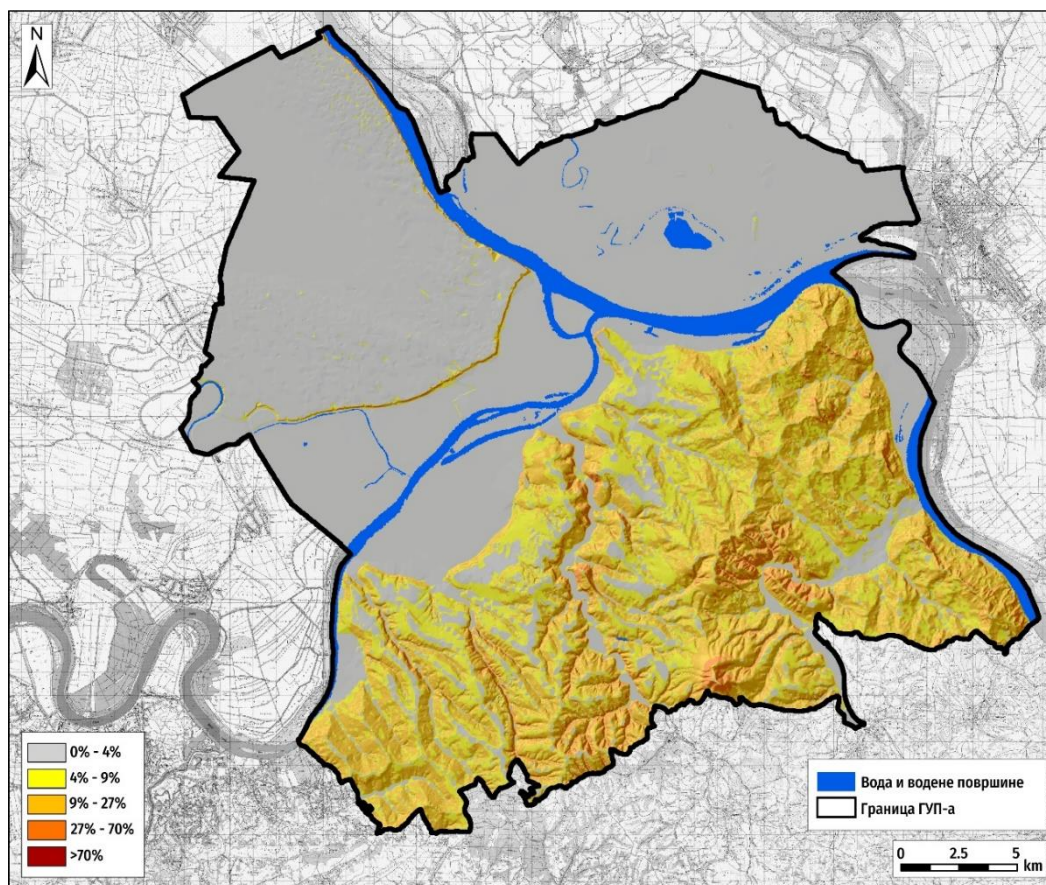
4.3.2. Нагиб терена

Анализе које се баве осетљивошћу терена стављају акценат на нагиб терена који може варирати од благог до веома стрмог од чега зависи и потенцијал за иницијацију ерозионих процеса и појаву површинског отицаја (Foumelis et al., 2004; Gómez-Gutiérrez et al., 2015; Sangchini et al., 2016; Arabameri et al., 2018). Са порастом нагиба долази до повећања брзине површинског отицаја, његове кинетичке енергије и тангенцијалних напона, што утиче на убрзан ритам покретања и одношења честица, док је на блажим нагибима динамика процеса знатно блажа (Lee et al., 2004). Стрме падине велике дужине имају велики потенцијал за генезу површинског отицаја, што директно доводи до настанка бразди и јаруга (Naan et al., 1994; Panagos et al., 2015a; Correa-Muñoz, Higidio-Castro, 2017). За потребе моделирања нагиба терена, коришћен је дигитални модел површи (енг. *Digital Surface Model – DSM*) паневропске базе података EU-DEM, са резолуцијом од 25 m (<https://www.eea.europa.eu>). Угао нагиба у DSM-у представља максималну величину промене нагиба дуж сваке ћелије растера и њених осам суседних ћелија. Просторни распоред истраживаног подручја приказан је на слици 4.9., док је класификација нагиба према IGU (International Geographical Union, 1968) приказана у табели 4.2.

Табела 4.2. Класификација нагиба терена (према IGU, 1968)

Категорија	Нагиб (%)	Карактеристике	Површина	
			km ²	%
I	0-4	Нема видљивих трагова кретања масе, Површинско спирање сведено на минимум	466,78	59,96
II	4-9	Видљиве су појаве кретања, Изражено је спирање, течење и клижење тла	111,78	14,36
III	9-27	Снажна ерозија, Интензивно спирање и покрети маса	180,10	23,13
IV	27-70	Веома снажна ерозија, Појачано спирање и одношење материјала	19,87	2,55
V	>70	Покрети маса толико су изражени да се акумулирани материјал тек местимично задржава, јављају се претежно огољене стеновите површине	0,01	0,002
Укупно			778,54	100

Просечна вредност нагиба терена на истраживаном подручју износи 5,47%, са распоном вредности од 0 до 80,03%. Нагиби од друге до пете категорије су распрострањени јужно од Саве и Дунава, док је само мали део треће категорије заступљен у јужном делу Срема, на лесном одсеку. Према табели 4.2., и датој класификацији, нагиби треће категорије заузимају површину од 23,13% од укупне истраживане површине. Карактеристична појава код ове категорије нагиба је снажна ерозија, са интензивним спирањем и покретањем земљаних маса.



Слика 4.9. Просторна расподела терена под различитим нагибима

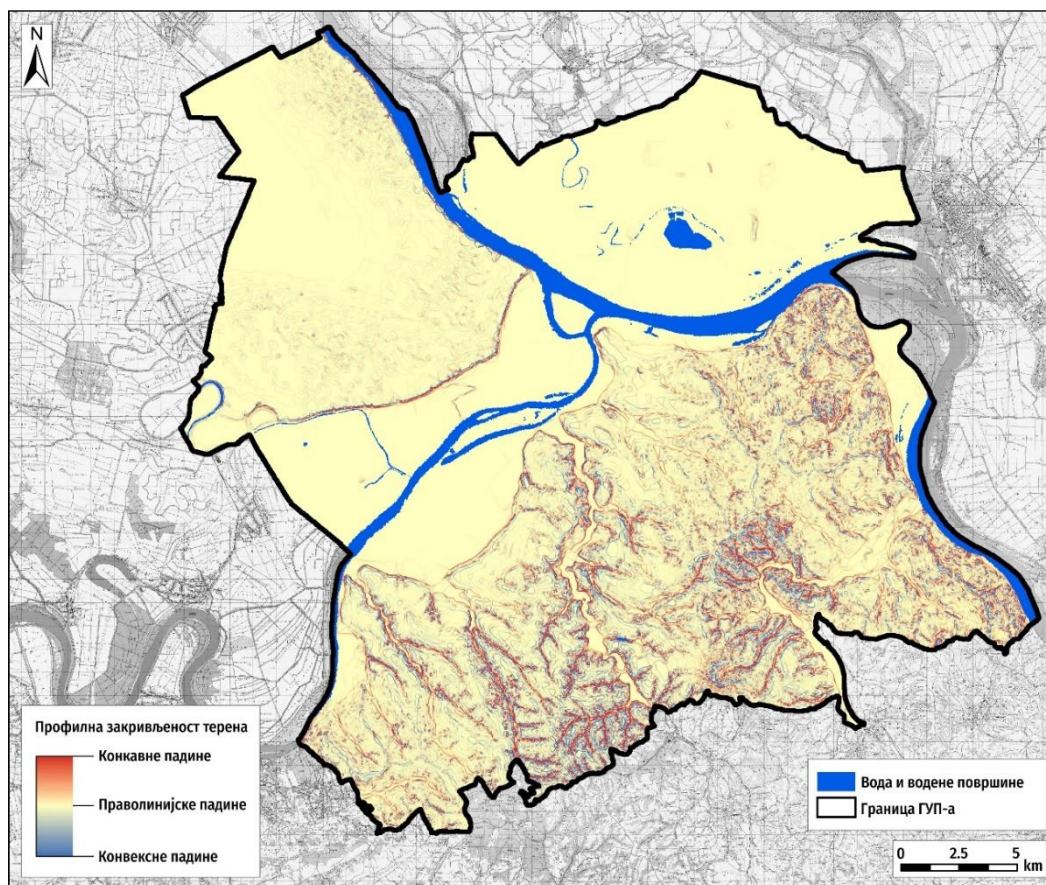
4.3.3. Закривљеност терена

Термин „закривљеност терена“ односи се на облик падине и његов утицај на генезу и развој ерозионих процеса (Lee, Sambath, 2006; Fischer et al., 2012). За потребе анализе, закривљеност терена се прорачунава помоћу DSM. Изражава се у rad/m , али због малих вредности и ради лакшег приказа резултата, множи се са 100 (Zevenbergen, Thorne, 1987). Постоје три типа закривљености: профилна, планарна и укупна закривљеност (Zevenbergen, Thorne, 1987).

Профилна (вертикална) закривљеност је паралелна са падином и означава правац пружања највећег нагиба. Користи се у анализама промена брзине кретања воде и наноса. Вредности профилне закривљености могу бити негативне и позитивне. Негативне вредности показују да је површина конвексна, док позитивне вредности показују да је површина конкавна. Вредност нула показује да падина има хомоген (праволинијски) нагиб. У табели 4.3. представљена је просторна заступљеност профилне закривљености, док је на слици 4.10. приказан просторни распоред профилне закривљености.

Табела 4.3. Категорије профилне закривљености терена

Падине	Површине	
	km^2	%
Конвексне	104,72	13,45
Праволинијске	580,40	74,55
Конкавне	93,42	12,00
Укупно	778,54	100

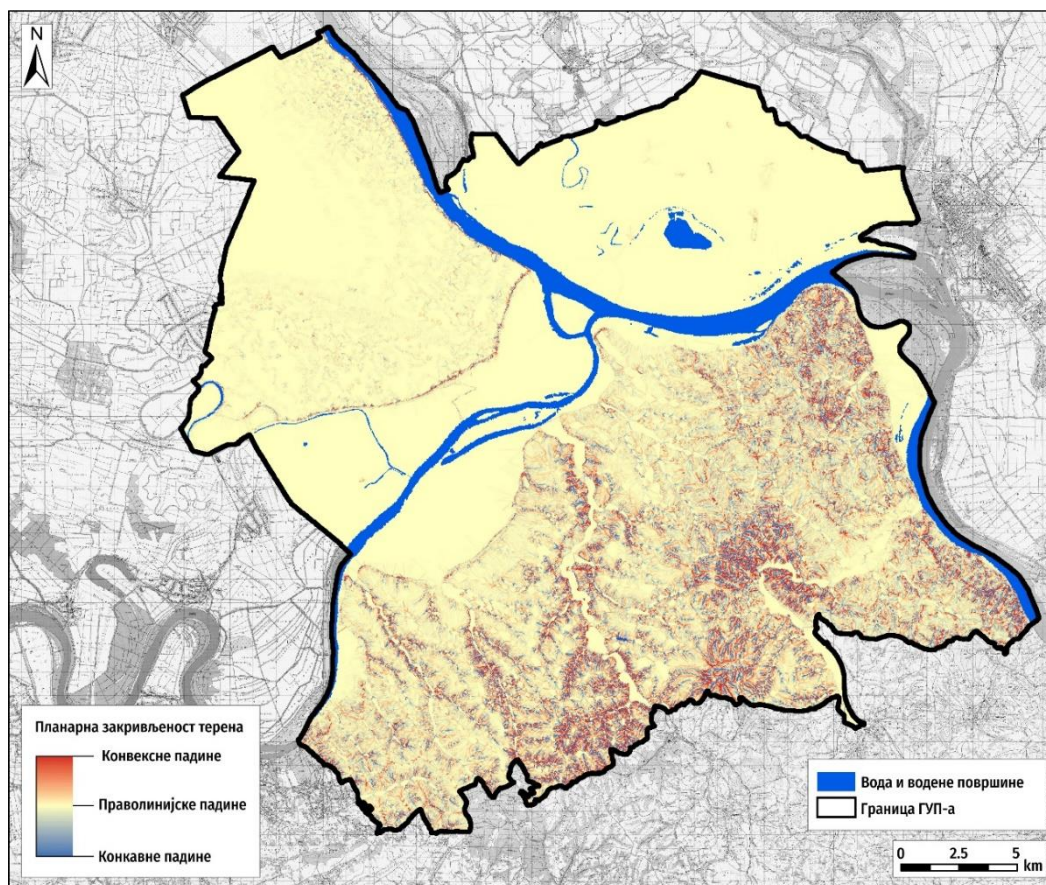


Слика 4.10. Просторна расподела профилне закривљености терена

Планарна (хоризонтална) закривљеност је управна на правац пружања највећег нагиба, односно приказује закривљеност изохипсе у хоризонталној равни. Планарна закривљеност приказује конвергенцију и дивергенцију кретања воде. Дивергентне падине производе отицај који утиче на интензивирање процеса спирања и јаружања, док се на конвергентним падинама формирају зоне акумулације воде и наноса. Вредности планарне закривљености, такође могу да буду позитивне и негативне. Позитивне вредности указују да је површина бочно конвексна, док негативне вредности означавају бочно конкавне површине. Падине са униформном хоризонталном закривљеношћу имају вредност нула. У табели 4.4. представљена је просторна заступљеност планарне закривљености терена, док је просторна расподела приказана на слици 4.11.

Табела 4.4. Категорије планарне закривљености терена

Падине	Површине	
	km ²	%
Конвексне	101,77	13,07
Правoliniјске	588,46	75,58
Конкавне	88,31	11,34
Укупно	778,54	100



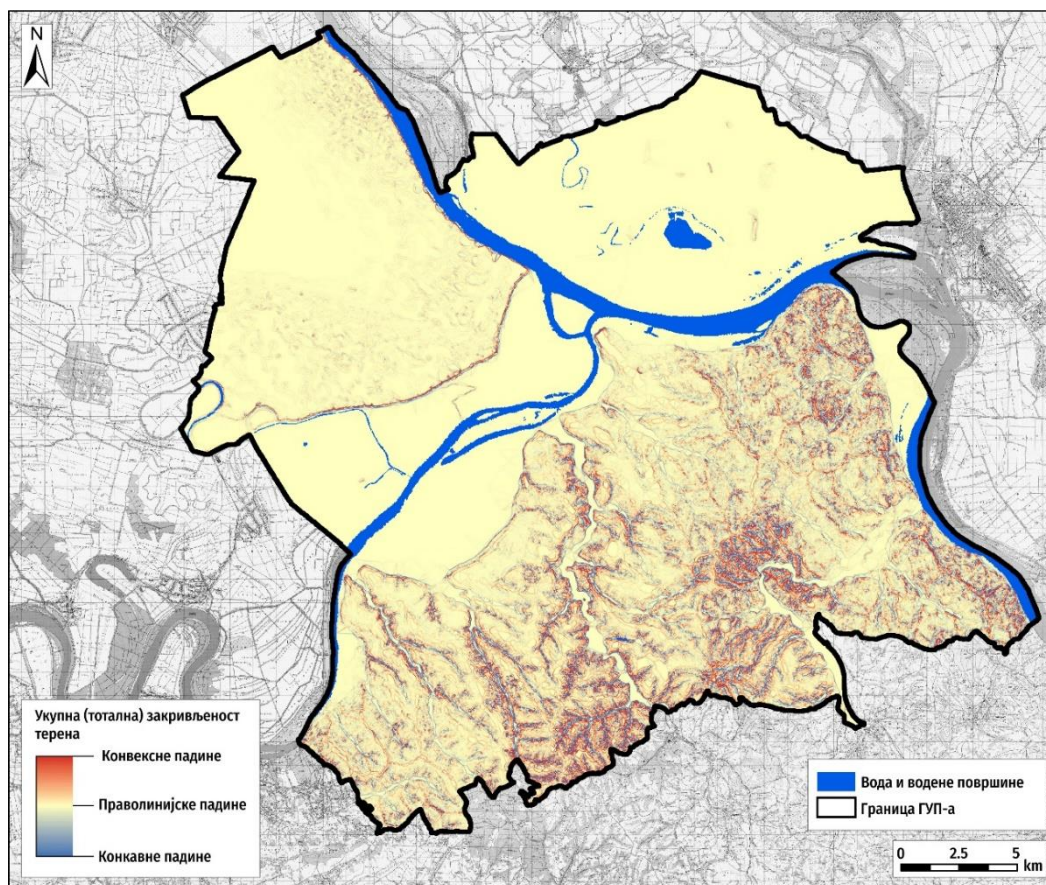
Слика 4.11. Просторна расподела планарне закривљености терена

Укупна (тотална) закривљености терена представља закривљеност у било ком правцу, односно комбинацију профилне и планарне закривљености. Овакав тип закривљености користи се за добијање уопштене представе о облику падина. Негативне вредности указују на конкавне падине, а позитивне на конвексне. Вредност нула означава падину са униформним падом.

На истраживаном подручју је утврђена доминација конвексних падина у односу на конкавне (табела 4.5.; слика 4.12.). Овакве површине указују на појаву брзог површинског отицаја и покретање ерозионих процеса (спирање, браздање, јаружање).

Табела 4.5. Просторна заступљеност појединих категорија укупне (тоталне) закривљености терена

Падине	Површине	
	km ²	%
Конвексне	140,58	18,06
Правoliniјске	514,31	66,06
Конкавне	123,65	15,88
Укупно	778,54	100



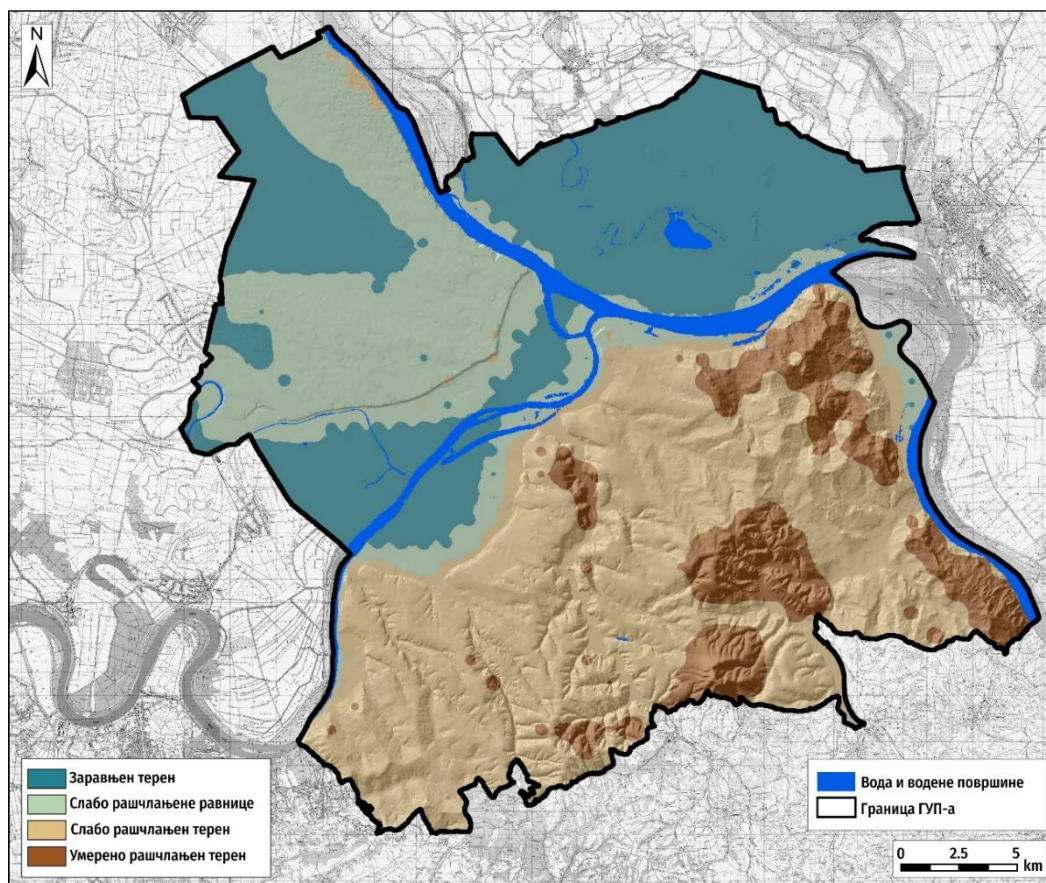
Слика 4.12. Просторна расподела укупне (тоталне) закривљености терена

4.3.4. Вертикална рашчлањеност терена

Вертикална рашчлањеност је морфометријски параметар рељефа, који се одређује на основу висинске разлике између највише и најниже тачке на јединици површине. Овај параметар показује предиспонираност терена на појаву ерозије и акумулацију наноса. Позитивне вредности указују на повећан потенцијал за појаву ерозионих процеса, док негативне вредности указују на постојање зона акумулације еродираниог материјала (Raja et al., 2017). Терени веће рашчлањености су подложнији настанку ерозионих процеса и појави бујичних поплава (Foumelis et al., 2004; Zhu et al., 2014; Pourghasemi et al., 2013; Sangchini et al., 2016). Вертикална рашчлањеност је анализирана помоћу скупа тачака, која представљају надморске висине (најмање и највеће) појединачних DSM-а пиксела. Елементарна јединица за анализу вертикалне рашчлањености јесте квадратни полигон површине 1 km². Класификација типова вертикалне рашчлањености на истраживаном подручју је дата у табели 4.6. (Лозић, 1995), док је просторни распоред приказан на слици 4.13.

Табела 4.6. Класификација вертикалне рашчлањености терена (према Лозић,1995)

Вертикална рашчлањеност терена (m/km ²)	Опис	Површина	
		km ²	%
0-5	Заравњен терен	222,62	28,60
5-30	Слабо рашчлањене равнице	168,97	21,70
30-100	Слабо рашчлањен терен	306,17	39,33
100-300	Умерено рашчлањен терен	80,78	10,38
Укупно		778,54	100



Слика 4.13. Просторна расподела вертикалне рашчлањености терена истраживаног подручја

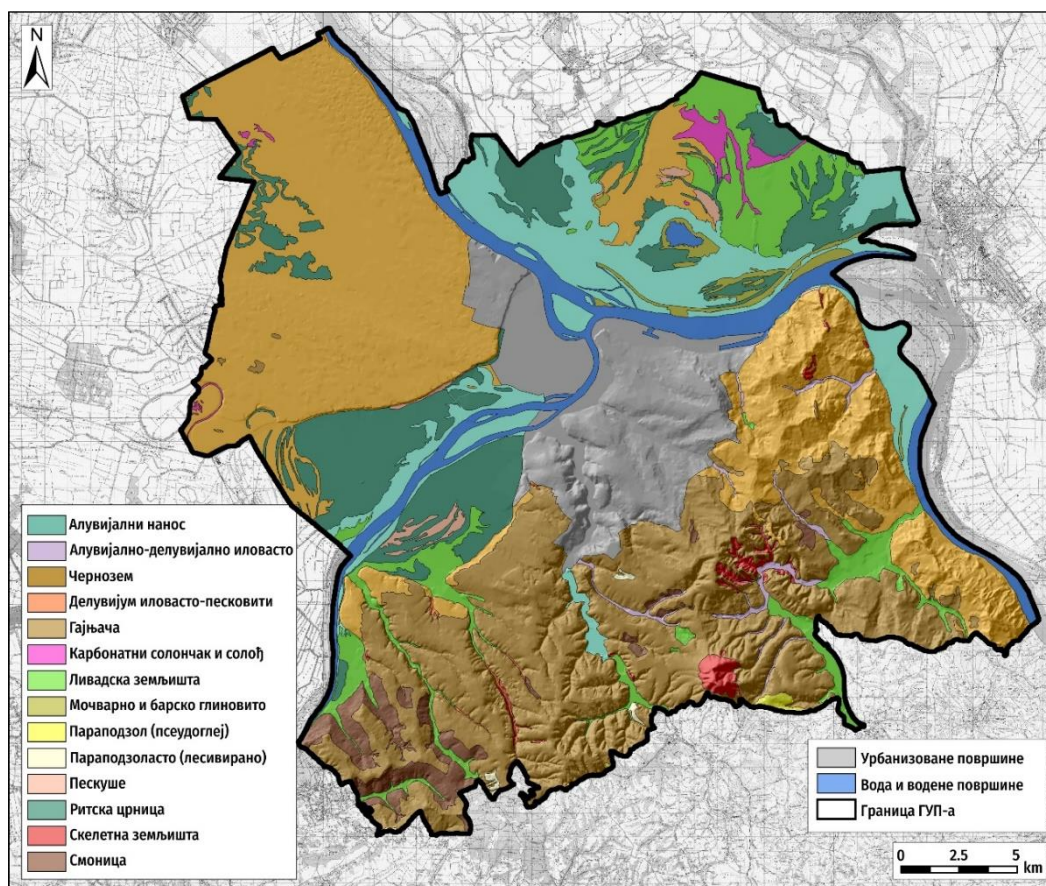
Категорија *заравњен терен* је заступљена на подручју флувијалног и флувијално-барског рељефа, на површини од 222,62 km², односно, 28,60% од укупне површине истраживаног подручја. Категорија *слабо рашчлањене равнице* заузима површину од 21,70%, од укупне површине. Највећа распрострањеност ове категорије је уочена на лесном платоу у југоисточном делу Срему. *Слабо рашчлањен рељеф* највише је заступљен јужно од Саве и Дунава. *Умерено рашчлањен терен* се простире на 10,38% од укупне површине. Ова категорија је највише заступљена на деловима Авале, Космаја, Милићевог брда и Кошутњака, на делувијално-пролувијалном рељефу.

4.4. Педолошке карактеристике

Заступљени типови земљишта на истраживаном подручју су настали у различитим условима образовања, услед деловања три врсте доминатних фактора. На подручју Панчевачког рита доминантан чинилац образовања је подземна вода (Pavićević i sar., 1975), а у југоистичном Срему, углавном клима и вегетација (Antonović i sar., 1976). Подручје јужно од Саве и Дунава представља полигон спрегнутог деловања свих чинилаца образовања земљишта (геолошка подлога, рељеф, хидрографија, клима, вегетација, антропогени чиниоци и др.) (Antonović i sar., 1976). Према Педолошким картама размере 1:20.000 (листови бр. 1-22 Град Београд, Завод за картографија „ГЕОКАРТА“, 1969,1970), и пратећих тумача (Antonović i sar., 1976; Antonović i sar., 1978), као и на основу меродавних литературних извора (Škorić i sar., 1985; Кнежевић i sar., 2011; Ђорђевић и сар., 2011), на подручју ГУП-а идентификовани су следећи типови земљишта (Табела 4.7., Слика 4.14.):

Табела 4.7. Типови земљишта на истраживаном подручју

Типови земљишних творевина	km ²	%
Чернозем	232,67	29,89
Ритска црница	76,70	9,85
Смоница	17,58	2,26
Гајњача	184,99	23,76
Параподзоласто (лесивирано) земљиште	0,96	0,12
Параподзол (псеудоглеј)	1,10	0,14
Ливадска земљишта	51,08	6,56
Мочварно и барско глиновито земљиште	7,34	0,94
Алувијални наноси (Алувијална земљишта)	68,02	8,74
Делувијум иловасто-песковити	0,77	0,10
Алувијално-делувијално иловасто земљиште	4,55	0,58
Карбонатни солончак и солођ	5,54	0,71
Пескуше	3,82	0,49
Скелетна земљишта	5,91	0,76
Урбанизоване површине (непознате земљишне творевине)	81,19	10,43
Вода и водене површине	36,34	4,67
Укупно	778,54	100,00



Слика 4.14. Просторна расподела типова земљишта на истраживаном подручју

Чернозем припада класи хумусно-акумулативних земљишта (Ђорђевић и сар., 2011). Процеси образовања чернозема јужно од Саве и Дунава се знатно разликују у односу на делове југоисточног Срема, Панчевачког рита, а и саме Панонске низије. Разлике су последица другачијих карактеристика рељефа, климе, као и првобитне вегетације. Брдовити фрагменти

простора јужно од Саве и Дунава, подложни су деловању ерозионих процеса, што се одражава и на чернозем који је значајно другачији од оног у Војводини (Раџићевић, 1964). Појава ерозије утиче на еродирање и одношење честица хумусно-акумулативног хоризонта, који је средње дубок, местимично плитак, а понегде еродира до матичне подлоге, тако да лес избија на површину терена. Овај тип чернозема типичан је за нагибе дуж обала Саве и Дунава, на којима су интензивне пољопривредне делатности. Услед процеса ерозије, поред дубине, мењају се и друге особине: боја, састав, структура и водно-физичке особине. Боја чернозема варира од тамносмеђе до црне боје. Структура чернозема мења се од мрвичасте до зрнасте, а у неким пределима је и ситнорогљаста, посебно у микродепресијама где се нешто дуже задржава вода после обилних падавина. На таквим местима, најчешће је измењен и састав чернозема, тако да се појављују нешто теже иловаче, односно глиновите иловаче. Овакав састав свакако утиче и на способност упијања и акумулацију воде, што је значајно са аспекта ерозије и заштите земљишта. У зависности од нагиба и дужине падине, појављују се различите форме чернозема. Поред чернозема излуженог иловастог који заузима површину од 67,25 km² (8,64%), на истраживаном подручју заступљени су и чернозем карбонатни иловачи (67,01 km²-8,61%), чернозем иловачи у огајњачавању (30,13 km²-3,87%), чернозем ливадски иловачи (29,70 km²-3,82%), чернозем иловачи еродирали (20,34 km²-2,61%), чернозем карбонатни песковит (11,88 km²-1,53%) и чернозем ливадски иловачи глиновит у заслањивању (6,37 km²-0,82%).

Ритска црница има највећу заступљеност на деловима Панчевачког рита, затим у југоистичном Срему, а најмању јужно од Саве и Дунава. У погледу рељефа, ова земљишта претежно заузимају ниже терене, депресије и притерасни део речних плавних тераса, где се такође осећа колебање нивоа подземне воде што је у вези са променом водостаја реке (Antonić i sar., 1976; Ђорђевић и сар., 2011). Дебљина хумусног хоризонта овог типа земљишта варира од 30 до 80 cm. Боја овог хоризонта, такође је различита и варира од светлосмеђе до црне боје. Са аспекта физичких особина, ритске црнице спадају у глиновите иловаче и глинуше, са садржајем честица глине већим од 40%, тако да имају слабу способност филтрације. Неповољног су водно-ваздушног режима, изражене лепљивости, тако да често подсећају на смонице. Структура ових земљишта варира од грашкасто рогљасте до рогљасто призматичне. Ова земљишта су дубока и потенцијално плодна. Погодна су за гајење ратарских култура (кукуруза, пшенице, луцерке), а има их и под пашњацима, ливадама као и ритовима и мочварама. На истраживаном подручју заступљени су различити подтипови ритске црнице. Најзаступљенији су ритска црница карбонатна иловача (46,05 km²-5,91%), ритска црница карбонатна глиновита (1,25 km²-0,16%), ритска црница безкарбонатна глиновита (18,08 km²-2,32%) и ритска црница глиновита у заслањивању (11,31 km²-1,45%).

Смоница заузима делове територије јужно од Саве и Дунава. Релеф на коме је образована, углавном је заравњен или благо заталасан, будући да се смоница појављује у котлинама и депресијама. По ободу котлина смонице су плитке и еродирани, тако да рељеф представља важан чинилац када је у питању дубина смонице. На истраживаном подручју јављају се на надморским висинама испод 100 m. Надморска висина и експозиција су значајни чиниоци метаморфозе смоница, услед различитих педоклиматских услова. У погледу геолошке подлоге, смоница се јавља на неогеним седиментима, литолошки представљеним глинама, песковима и лапорцима, тако да су различитог гранулометријског и хемијског састава. Хумусно-акумулативни хоризонт код смоница је глинуша или глиновита иловача, која је врло збијена и компактна, а структура је ситнорогљаста и призматична, која је посебно наглашена у сувом стању. Водно ваздушне особине смоница су веома лоше, јер долази до бубрења у присуству воде и монтморионитске глине. У влажном стању, смоница је безструктурна, лепљива и пластична, а у сувом представља компактну испуцалу масу (Ђорђевић и сар., 2011). Смонице подлежу метаморфозама под утицајем климе и рељефа и прелазе у друге типове земљишта. Најчешћи процеси којима смоница подлеже су огајњачавање и лесивирање. На истраживаном подручју установљени су различити варијетети смонице. Највећу заступљеност

имају смоница нормална глиновита ($12,57 \text{ km}^2$ -1,61%), смоница у огајњачавању ($3,36 \text{ km}^2$ -0,43%), смоница у лесивирању ($0,23 \text{ km}^2$ -0,03%) и смоница еродирана ($1,41 \text{ km}^2$ -0,18%).

Гајњача представља једно од најраспрострањенијих земљишта на подручју јужно од Саве и Дунава. На подручју београдског Подунавља и Посавине, гајњача се појављује на свим елементима рељефа и на свим експозицијама, изузев у планинском подручју или на веома стрмим теренима где не постоје услови за њено формирање. Ипак, гајњача се најчешће развија на заталасаном рељефу, на надморској висини од 100 до 500 m н.м, на терцијарним језерским терасама, лесним платоима и лесним терасама, као и на старим алувијалним терасама. Типичне гајњаче се јављају на равном терену или на благим нагибима, док на нагнутом теренима долази до њихове трансформације или еродирања. На северним експозицијама, као и у микродепресијама, долази до трансформације гајњаче у друге типове земљишта. Најспорије промене се одигравају на јужним експозицијама, где су уочљиви процеси денудације. Гајњача се образује на разноврсним супстратима, који имају изражен утицај на брзину образовања, морфолошке, физичке, хемијске, биолошке особине и производну вредност. Гајњача има умерено развијен хумусно-акумулативни хоризонт иако настаје, углавном од чернозема и смонице. Хумус брзо нестаје приликом разоравања травњака или крчења шума, а гајњаче које се обрађују имају плитак хумусни хоризонт. На нагнутом теренима, гајњаче губе значајан део хумусног хоризонта, услед деловања ерозије. Структуре је, најчешће, грудвасте или орашасте, мада се појављује и грашката, ређе мрвичаста. На истраживаном подручју, гајњаче се јављају у следећим формама: гајњача иловаста на лесу ($97,46 \text{ km}^2$ -12,52%), гајњача иловасто-глиновита у лесивирању ($51,85 \text{ km}^2$ -6,66%), гајњача иловасто-глиновита на терцијарним седиментима ($12,14 \text{ km}^2$ -1,56%) и гајњача иловасто-глиновита еродирана ($23,54 \text{ km}^2$ - 3,02%).

Параподзоласта (Лесивирана) земљишта карактеришу веома слаба водно-физичка својства. Појављују се на благим заравнима, са отежаним дренарањем терена. Процеси испирања код ових земљишта су веома изражени, тако да се на вертикалном профилу земљишта јасно разликују елувијални и илувијални хоризонт. Механички састав је лакши у хумусном хоризонту, док се у елувијалном налази нешто више глине. С обзиром да се врши процес испирања у елувијалном хоризонту, временом се нагомилавају фракције праха и глине, тако да је структура слабо изражена, посебно на ораницама (Antonić i sar., 1978). Структурни агрегати се обично слепљују у грудве различитих димензија, а распршују се под притиском. Зрнасти агрегати се могу запазити код ових земљишта под травњацима и ливадама.

Параподзол (Псеудоглеј) се јавља на нижим деловима истраживаног подручја и заузима површину од $1,10 \text{ km}^2$, односно 0,14%. Ова земљишта имају текстурну диференцијацију профила: у површинским хоризонтима су иловасте, а у дубљим хоризонтима изражено иловасте до иловасто-глиновите текстуре. Имају лоше физичке особине услед чега је производни потенцијал мали. Параподзоли немају изражену структуру, садрже доста праха и изражена је капиларност, тако да се ова земљишта брзо исушују по завршетку мокре фазе и прелазе преко влажне у суву фазу (Ђорђевић и сар., 2011). Топлотни и ваздушни режим ових земљишта је врло лош.

Ливадска земљишта (семиглеј) припадају хидрогеним земљиштима, и на истраживаном подручју већу заступљеност имају у деловима Панчевачког рита, док су мање заступљена у деловима јужно од Саве и Дунава. Представљају старе алувијалне наносе који су се изменили променом природних услова њиховог образовања. Јављају се на истраживаном подручју у различитим формама и варијететима. Највећу заступљеност имају ливадске црнице ($29,96 \text{ km}^2$ -3,85%), ливадска смеђа земљишта иловаста ($11,26 \text{ km}^2$ -1,45%), ливадска смеђа земљишта глиновита ($6,39 \text{ km}^2$ -0,82%) и ливадска црница глиновита у заслањивању ($3,47 \text{ km}^2$ -0,85%). Најчешћа подлога ових земљишта је алувијални песак који се налази на различитим дубинама. Ливадска земљишта су дубока, са моћним хумусно-акумулативним хоризонтом. Заступљена

су у равницама, у широким депресијама и долинама река. У зависности од варијетета и форме, дубина најчешће износи од 60-80 cm, понекад и преко 1 m. По механичком саставу то су лакша земљишта, са текстуром која варира од иловаче до теже иловаче, понекад и до тешке глине. Структура углавном није изражена, мада може бити грудваста или рогљаста, у зависности од дубине и варијетета (Antonić i sar., 1978). Генерално, ова земљишта су потенцијално плодна са dobrим физичким и хемијским карактеристикама.

Мочварно и барско глиновито земљиште је заступљено на деловима Панчевачког рита и заузима површину од 7,34 km², односно 0,94% од укупне површине. Заступљена су на површинама која су стално под водом у виду бара или повремено под водом у виду ритова и мочвара. Заузимају депресије и удубљења са оглејаним глиновитим дном (Antonić i sar., 1978). Неповољних су физичких особина, по текстури су најчешће глинуше, која у контакту са водом јако бубре и постају водонепропусна, а у сувој фази пуцају, постају водопропусна и слабо аерисана земљишта (Ђорђевић и сар., 2011).

Алувијални наноси (Алувијална земљишта) припадају реду хидроморфних земљишта. Према WRB (World Reference Base for Soil Resources) класификацији називају се *fluvisols* (Ђорђевић и сар., 2011), а према новијој класификацији називају се флувијална земљишта или млади речни нанос (Ђорђевић и сар., 2011). На истраживаном подручју налази се у долинама Саве и Дунава. Највећа заступљеност је на простору Панчевачког рита, затим у југоисточном Срему, а најмања заступљеност је у деловима јужно од Саве и Дунава. Образују се у приобалном делу речне плавне терасе где се у већој мери таложи грубљи материјал. Међутим, како интензитет појединих поплава варира, долази до промене гранулометријског састава наноса. На тај начин се могу један преко другог наталожити разноврсни наноси (нпр. песак преко шљунка), а такође може доћи и до образовања новог наноса преко већ формираних земљишта са хумусним хоризонтом. Нехомогеност текстурног састава, различити процеси у наносима под утицајем деловања подземне воде и климатских фактора довели су до стварања различитих форми и варијетета. На територији истраживаног простора заступљени су следећи варијетети: алувијум карбонатни иловачи (23,91 km²-3,07%), алувијум карбонатни песковит (12,25 km²-1,57%), алувијум карбонатни глиновити забарен (13,34 km²-1,71%), алувијум карбонатни иловачи дубоки на ритској црници (1,15 km²-0,15%), алувијум карбонатни иловачи плитки на ритској црници (1,30 km²-0,17%), алувијум карбонатни глиновити на ритској црници (12,02 km²-1,54%), алувијум безкарбонатни глиновити на ритској црници (4,06 km²-0,52%). Физичке особине ових подтипова зависе од броја слојева, њихове дебљине, гранулометријског састава, хемијског и минералног састава и од узајамног поретка слојева (лакши преко тежег слоја и обрнуто). У гранулометријском саставу доминирају текстуре пескуша до иловача. Немају изражену структуру, јер је она резултат дужег педогенетског сазревања земљишта. Гравитационо и капиларно кретање воде јако компликује слојевитост, јер су водне особине одређеног слоја под утицајем слојева који леже испод и изнад њега.

Алувијално-делувијално иловасто земљиште настаје тако што се алувијални наноси, настали радом текућих вода, мешају са делувијалним (колувијалним) наносима донетим са околних падина, услед комбинованог дејства воде и гравитације. Морфолошки, изглед углавном зависи од особина алувијалног наноса, који водотокови таложе, и материјала који доспева спирањем земљишта са околних падина. Дубина ових наноса је варијабилна и углавном зависи од ширине речне долине, јачине водотока и нагиба околног терена. Текстурни састав доста варира и зависи од локалитета и материјала од кога су настала. По текстури то су иловаче и глиновите иловаче, а на неким местима то су и песковите иловаче.

Делувијум иловачи песковит назива се још и колувијално земљиште и припада класи неразвијених земљишта, и реду аутоморфних земљишта. Образују се на подножју падина, таложењем растреситог земљишног материјала и стена, који је еродирао из горњих делова

падине. С обзиром да делувијум настаје као последица ерозије земљишта, образовање овог типа зависи од истих фактора који утичу на ерозију (уклањање вегетације, начин коришћења земљишта, интензитет падавина). Према текстури су веома хетерогена, тако да приликом таложења не долази до значајнијег гранулометријског сортирања. Могу да буду глиновите и песковите текстуре, са доста скелета тако да су добро водопропусна, аерисана и топла, али имају мали водни капацитет због чега вегетација често страда од суше.

Пескуше се јављају у алувијалним равнинама, поред река. Услед високог садржаја песка лако се дренирају, брзо загревају и суше. Лака су за обраду, са високим приносима током кишне године, док током сушних периода имају мали производни потенцијал. Установљена су два варијетета на истраживаном подручју: пескуша хумизирана (2,66 km²-0,34%) и пескуша смеђе карбонатна (1,16 km²-0,15%).

Скелетна земљишта заузимају подручја јужно од Саве и Дунава и заступљена су са два подтипа: скелетоидно неразвијено земљиште (3,30 km²-0,42%) и скелетно земљиште на серпентину (2,61 km²-0,33%). Оба подтипа представљају површине изложене деловању ерозионих процеса. То су скелетна, плитка и слабо хумусна земљишта, мале производне способности. Најчешће се елувијалне површине налазе изнад делувијалних наноса. Њихово образовање је настало под доминантним утицајем водне ерозије, те им је распон бонитета узан: скелетоидно неразвијено земљишта (V, VI, VII класе), скелетно земљиште на серпентину (VII класе).

Карбонатни солончак и солој су земљишта која припадају реду халоморфних земљишта или слатина. У процесу образовања и еволуцији ових земљишта учествују минерализоване воде, односно воде обogaћене лако растворљивим солима. Представљају земљишта која имају малу употребну вредности за пољопривредну производњу. Налазе се углавном у ниским равницама где се дуго задржава вода, што додатно умањује производни потенцијал.

4.5. Вегетација истраживаног подручја

Према карти природне потенцијалне вегетације (Јовановић и сар., 1983) истраживано подручје припада следећим заједницама: шумама храстова сладуна и цера (*Quercetum frainetto-cerris* RUD. 1949), шумама лужњака и жестике (*Aceri tatarico-Quercetum* ZOLYOMI 1957), шумама топола и врба (*Salici-Populetum*), шумама лужњака и жутиловке (*Genisto elatae-Quercetum roboris*), шумама храста китњака и граба (*Carpinion betuli illyrico-moesiacum*), шумама лужњака и граба (*Carpino betuli-Quercetum roboris*) (Слика 4.15.).

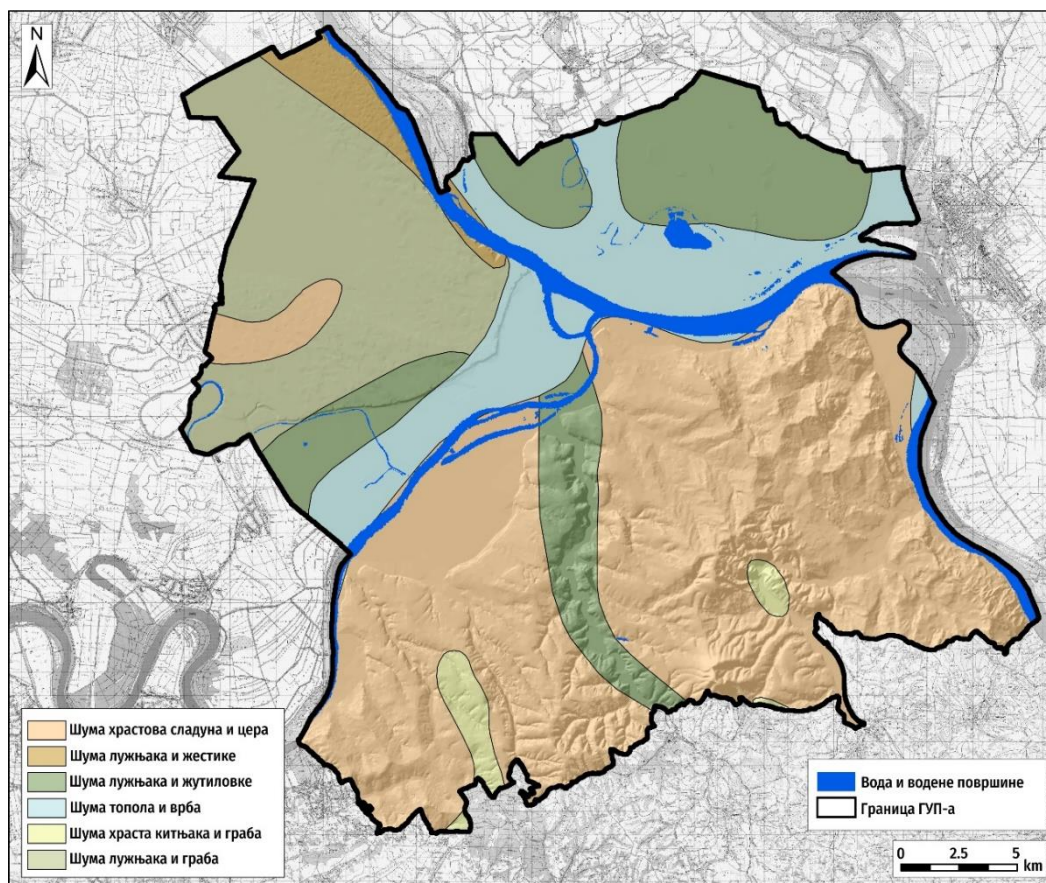
Истраживано подручје у односу на своју величину, географски положај, климатске, геоморфолошке, педолошке карактеристике, као и на динамику развоја и неуједначеност урбанизације, обилује различитим типовима вегетације. На територији јужно од Дунава и Саве појављују се следећи типови вегетације: мочварна, ливадско-пашњачка и шумска вегетација. На подручју северно од Дунава и Саве су углавном заступљене пољопривредне површине (оранице).

Мочварна вегетација је распрострањена локално у старим меандрима или на теренима са већом количином површинских и подземних вода. На оваквим стаништима заступљена је асоцијација *Scirpeto-Phragmitetum*, која у својим дубљим деловима насељава *Scirpus lacuster* (шевар), а плиће делове који лети пресушују *Phragmites communis* (треска), као и *Typha latifolia* (рогоз), *Typha angustifolia*, *Euphorbia palustris* (барска млечика), *Sagittaria sagittifolia* (кека), *Sparganium ramosum*, *Stachys palustris* и друге. Подручја која имају релативно висок ниво подземне воде, насељавај асоцијација *Caricetum-Tricostato vulpinae*. У овој асоцијацији заступљене су *Carex riparia* (оштрица), *Carex gracilis*, *Carex vulpina* *Ranunculus repens* (љутић),

Euphorbia palustris (барска млечика), *Iris pseudocaris* (барска перуника), *Gratiola officinalis* (прољевак), *Stachys palustris*, *Galium palustre* и друге.

Ливадско-пашњачка вегетација заступљена је у долинама већих река и мањих водотокова, као и на израженим деловима терена. У долинама речних тераса специфичан тип је асоцијација *Gynocontetum* у чији састав улазе заједнице *Andropogon ischaemum* (камфорова трава), *Plantago lanceolata* (боквица), *Taraxacum officinale* (маслачак), *Achilea millefolium* (хајдучка трава), *Poa bulbosa*, *Bromus commutatus*, *Euphorbia cyparissias*, *Authoxanthum odoratum* и друге. На вишим деловима терена јављају се травне површине са следећим флористичким саставом: *Poa pratensis* (лисичји реп), *Trifolium repens* (бела детелина), *Medicago arabica* (луцерка), *Plantago lanceolata* (ускочка боквица), *Taraxacum officinale* (маслачак), *Cichorium intybus* (женетрака), *Gallium verum* (ивањско цвеће), *Achilea millefolium*.

Заступљене морфолошке карактеристике у извесној мери диктирају и распрострањеност појединих шумских фитоценоза. У подручју речних долина доминира асоцијација *Saliceto-Populetum*, где су основне врсте: *Salix alba* (бела врба), *Salix prupurea* (црвена врба), *Salix vitelina* (жута врба), *Populus alba* (бела топола), *Populus nigra* (црна топола), *Alnus glutinosa* (јова). Заједнице лужњака и пољског јасена (*Quercus-Fraxinetum angustifoliae* Ruski) захватају шире долине поред река и потока, тј. на алувијално делувијалном наносу. На овим подручјима је увек висок ниво подземних вода, као последица плављења и слабог дренарања терена. Шуме граба и китњака (*Quercus-Carpinetum serbicum* Rud.) заузимају простор приобаља, влажнија станишта, као и падине са северном експозицијом и већом количином влаге у ваздуху. Ове шуме су заступљене на дубљим земљиштима која су богатија органским материјама. Шуме сладуна и цера са грабом (*Carpino-Quercetum farnetto-Cerris* (Rud.) Gajić) заступљене су на западним падинама Раковичког потока у сливу Топчидерске реке, као и на источним падинама у сливу реке Болечице. Шуме сладуна и цера са црним јасеном (*Orno-Quercetum farnetto-Cerris* Prov.) представљају ксеротермне шуме које заузимају равне и благо нагнуте терене на топлим јужним експозицијама. Заједница црног јасена и ситне границе (*Orno-Quercetum virgilianaе* Gajić) захвата део јужних и југозападних експозиција на стрмијим нагибима и кречњачком подлогом, док је на јужним експозицијама, где је подлога серпентинит, заступљена шума ситне границе са грабићем (*Quercus-Carpinetum orientalis*).



Слика 4.15. Природно потенцијална вегетација истраживаног подручја

4.6. Намена површина и земљишни покривач

Земљишни покривач и намена површина представљају динамичке факторе који се мењају под утицајем социјалних и био-физичких елемената (Karsidi, 2004). Промене у земљишном покривачу и намени површина се све више препознају као основни покретач промене интегритета и квалитета елемената животне средине на свим просторним и временским размерама (Turner et al., 1994; Brovelli et al., 2016). Поред тога што се термини *земљишни покривач* и *намена површина*, односно *начин коришћења земљишта* често користе наизменично, њихово стварно значење је прилично различито. Земљишни покривач (енг. *land cover*) представља биофизички покривач на површини Земље, било да је у питању вегетација, урбана инфраструктура, вода, голет и др. (Burley, 1961; Gomez et al., 2016). Намена површина или начин коришћења земљишта (енг. *land use*) односи се на врсту употребе земљишног покривача (Lo, 1986; Alam et al., 2019). Основна разлика је садржана у чињеници да термин *земљишни покривач* представља физичку покривеност различитим просторним елементима док *намена површине* (*начин коришћења земљишта*) заправо изражава употребну вредност од стране човека (Радић, 2019).

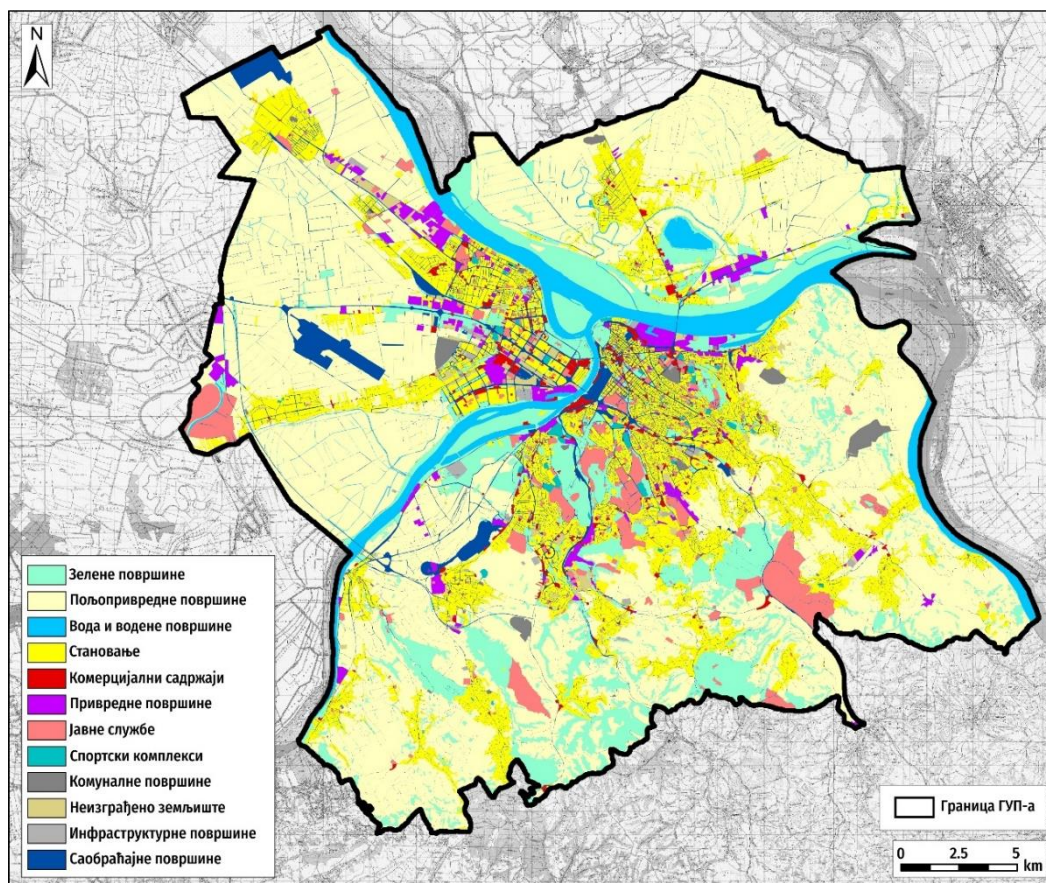
Како би се извршила компарација примењених метода за квантификацију интензитета ерозионих процеса, на подручју Генералног плана Београда, анализирана је намена земљишта. Према Закону о планирању и изградњи (Сл. гласник РС, 9/2020-3) намена земљишта представља начин коришћења земљишта који је одређен планским документом. Генералним урбанистичким планом Београда дефинисана су генерална урбанистичка решења са претежним наменама површина и генералним правцима система коридора за саобраћајну и комуналну инфраструктуру (Урбанистички завод Београда, 2016; Сл. лист града Београда, бр 11/2016). Према овоме, ГУП представља основни законски инструмент за реализацију концепта одрживог развоја подручја Београда, кроз систем смерница које дефинишу

концепцију развоја, уређивања и заштите града као европске метрополе. Пораст броја становника и рапидна експанзија урбаних функција су резултирали променама у намени земљишта и структури земљишног покривача, што доводи до трансформације пољопривредних као и природних и природи блиских површина у непорозне површине (Radić, Gavrilović, 2020). Услед деловања ових процеса, углавном стихијског карактера, савремени градови као генератори промена представљају „отворене лабораторије“ за детекцију глобалних трендова али истовремено и за проналажење модалитета за њихову митигацију.

С обзиром да је у периоду од 2003. до 2009. дошло до измена и допуна Генералног плана Београда, постојећа (из 2010. године) и планирана намена земљишта (2021. година) је добијена на основу векторизације геореференцираних карата које је израдио Урбанистички Завод Београда 2016. године (Урбанистички завод Београда, 2016). Након векторизације, примењене су процедуре како би се дефинисали просторни односи, тј. издвојили географски ентитети представљени тачкама, линијама и полигонима, ради добијања јединствене целине. У табели 4.8. приказан је биланс површина постојећег стања из 2010. године, док је просторни распоред приказан на слици 4.16. Према Генералном плану Београда, у оквиру границе грађевинског подручја, предложена је подела на следеће намене (саобраћајни систем и површине, инфраструктурни систем и површине, становање, комерцијални садржаји, привредне површине, специјализовани садржаји и зелене површине). На подручју ГУП-а које је изван границе грађевинског подручја, представљене су следеће намене површина: шуме и шумско земљиште, пољопривредне површине, вода и водене површине.

Табела 4.8. Биланс планираних намена површина за 2010. годину

Намена површина	km ²	%
Инфраструктурне површине	2,85	0,37
Јавне службе	30,02	3,86
Комерцијални садржаји	6,91	0,89
Комуналне површине	4,97	0,64
Пољопривредне површине	394,58	50,68
Привредне површине	15,00	1,93
Саобраћајне површине	47,96	6,16
Спортски комплекси	2,55	0,33
Становање	126,10	16,20
Вода и водене површине	40,56	5,21
Зелене површине	99,00	12,72
Неизграђено	8,05	1,03
Укупно	778,54	100,00

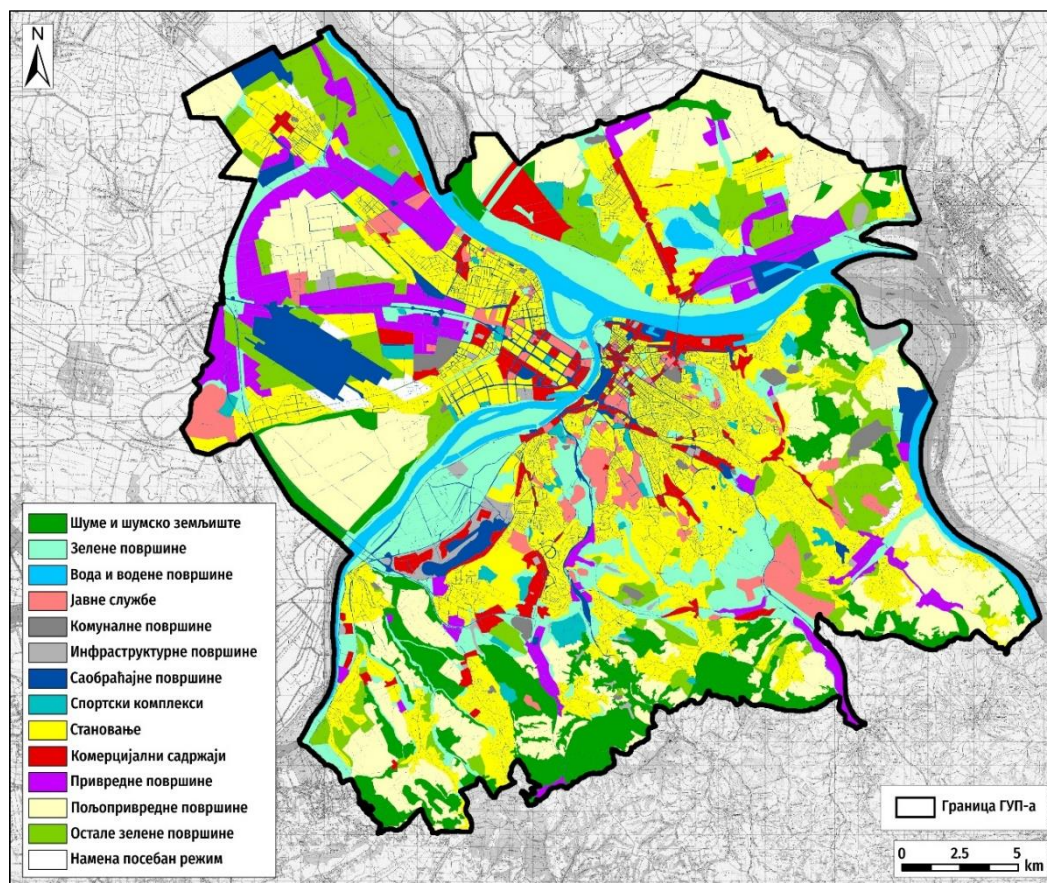


Слика 4.16. Постојећа намена површина за 2010. годину на подручју ГУП-а Београда

Према постојећој намени површина и генералним правцима развоја Града, дефинисана је и планирана намена површина за 2021. годину (Урбанистички завод Београда, 2016). Планом су обухваћене намене у границама грађевинског и изван грађевинског подручја. У оквиру границе грађевинског подручја планом су обухваћене планиране јавне службе, спортски комплекси, зелене површине, остале зелене површине, комуналне површине и објекти, саобраћајне површине; инфраструктурни системи и површине; становање; комерцијални садржаји и привредне површине. Подручје изван границе грађевинског подручја представља површине које су планиране за шуме и шумско земљиште, воде и водене површине, као и пољопривредне површине. Све наведене намене су поред поделе по припадности грађевинском подручју, сврстане у две основне групе, површине јавне намене и површине осталих намена. Биланс планираних намена површина приказан је у табели 4.9., а графички приказ је дат на слици 4.17.

Табела 4.9. Биланс планираних намена површина за 2021. годину

Намена површина	km ²	%
Инфраструктурне површине	8,43	1,08
Јавне службе	24,45	3,14
Комерцијални садржаји	30,24	3,88
Комуналне површине	6,26	0,80
Пољопривредне површине	136,85	17,58
Привредне површине	53,58	6,88
Саобраћајне површине	63,22	8,12
Спортски комплекси	10,91	1,40
Становање	180,23	23,15
Вода и водене површине	38,06	4,89
Зелене површине	91,88	11,80
Шуме и шумско земљиште	69,22	8,89
Остале зелене површине	60,55	7,78
Намене посебан режим ¹	4,65	0,60
Укупно	778,54	100



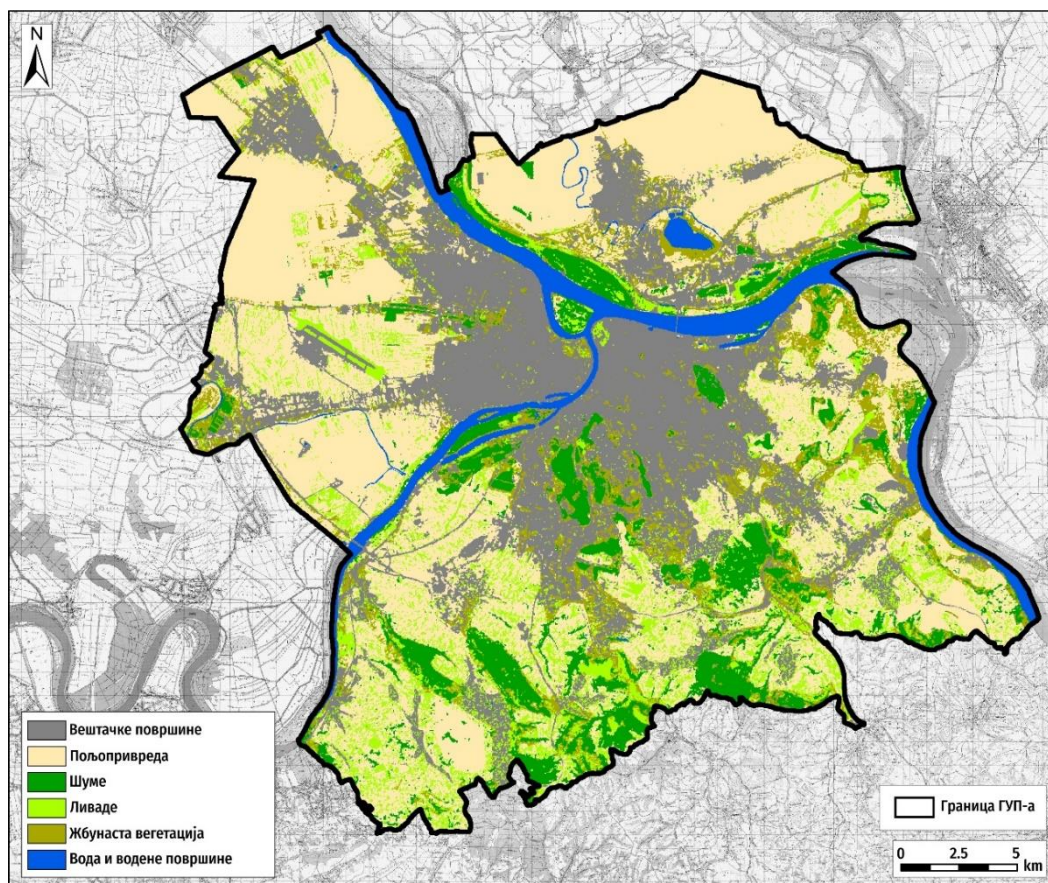
Слика 4.17. Планирана намена површина за 2021. годину на подручју ГУП-а Београда

Земљишни покривач за истраживано подручје представља резултат примењене методе машинског учења и класификације над сателитским снимцима Landsat мисије, за два временска пресека. Сателитски снимци имају просторну резолуцију од 30 m и преузети су са званичне интернет странице US Geological Survey (www.USGS.gov). Класификација земљишног покривача за оба временска пресека је дефинисана у шест различитих класа:

¹ „Намена посебан режим“ према графичком прилогу 3. **План намене површине** представља намена земљишта која ће бити одређена након усклађивања постојећих намена са посебним прописима и додатним истраживањима (Урбанистички завод Београда, 2016).

вештачке површине, водене површине, ливаде, пољопривредне површине, жбунаста вегетација, шумска вегетација. Класификација је детерминисана на основу параметара који су потребни за даљу употребу током примене ерозионих модела.

За потребе класификације земљишног покривача за 2001. годину коришћен је сателитски снимак Landsat мисије 7. Ознака преузетог снимка је LE71860292001228NSG00 са датумом снимања 16.08.2001. године. Применом методе машинског учења добијен је резултат који је приказан у форми класа у растерском формату са просторном резолуцијом од 30 m. Просторни распоред земљишног покривача приказан је на слици 4.18., док је површинска заступљеност дата у табели 4.10.



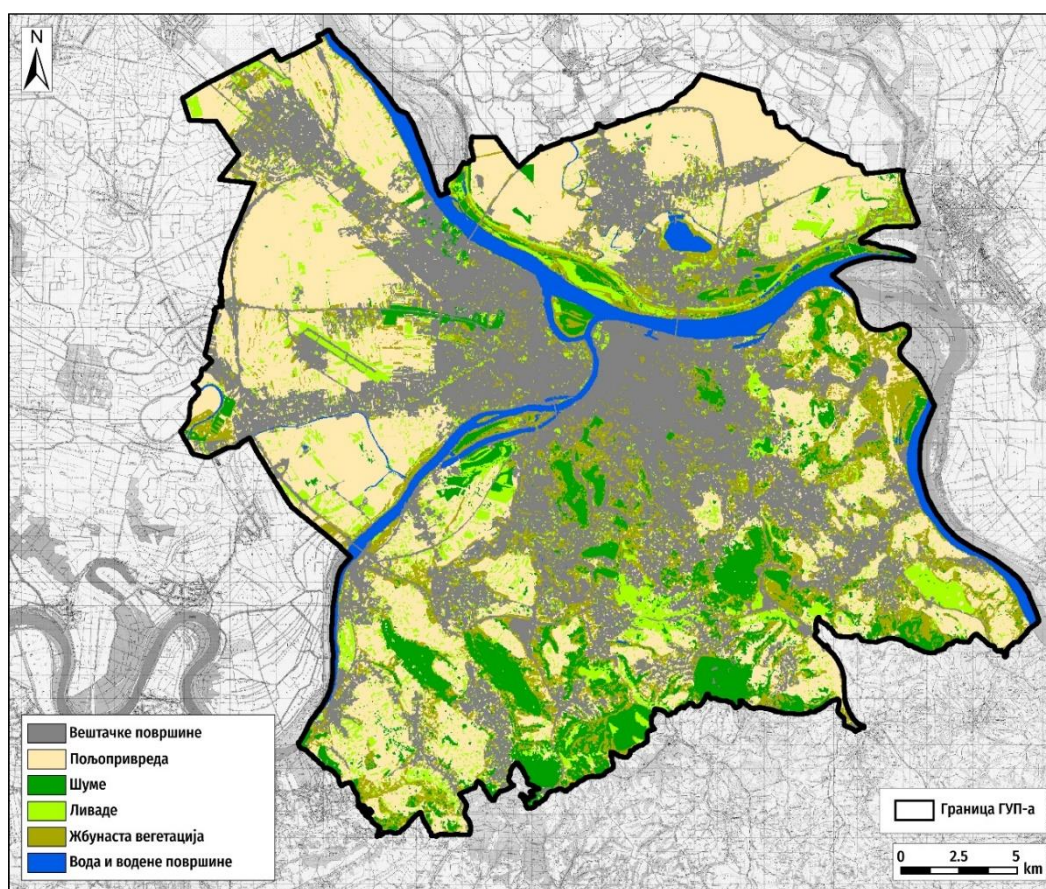
Слика 4.18. Просторна расподела типова земљишног покривача за 2001. годину

Табела 4.10. Процентуална заступљеност типова земљишног покривача за 2001. годину

Земљишни покривач	km ²	%
Вода и водене површине	39,41	5,06
Вештачке површине	190,87	24,52
Шуме	73,12	9,39
Жбунаста вегетација	77,26	9,92
Ливаде	88,75	11,40
Пољопривреда	309,13	39,71
Укупно	778,54	100,00

Анализа просторне дистрибуције актуелног стања земљишног покривача, односно за временски пресек из 2019. године, анализирана је на основу обраде сателитских снимака Landsat мисије 8. Датотека сателитског снимка је преузета са ознаком LC81860292019222LGN00, са датумом снимања 10.08.2019. године. Како би се применио исти приступ при класификацији као из 2001. године, примењена је метода машинског учења на

снимку који је такође креиран у месецу августу. Просторни распоред типова земљишног покривача приказан је на слици 4.19., док је површинска заступљеност дата у табели 4.11.



Слика 4.19. Просторна расподела типова земљишног покривача за 2019. годину

Табела 4.11. Процентуална заступљеност типова земљишног покривача за 2019. годину

Земљишни покривач	km ²	%
Вода и водене површине	38,69	4,97
Вештачке површине	234,88	30,17
Шуме	75,35	9,68
Жбунаста вегетација	111,07	14,27
Ливаде	67,14	8,62
Пољопривреда	251,42	32,29
Укупно	778,54	100,00

5. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Резултати истраживања су добијени и приказани на основу примене методолошког приступа описаног у поглављу 3. Иницијални резултати представљају класификацију сателитских снимака (добијених применом метода даљинске детекције у оквиру Landsat мисија) у циљу детерминисања структуре земљишног покривача. За потребе анализе структуре земљишног покривача за два временска пресека (2001. и 2019. година), коришћена је комбинација спектралних индекса. У оквиру анализа земљишног покривача утврђена је оцена тачности класификације као и промена насталих за два временска пресека. Квантификација и компарација интензитета ерозионих процеса обављени су применом Методе Потенцијала ерозије, RUSLE и G2 моделом.

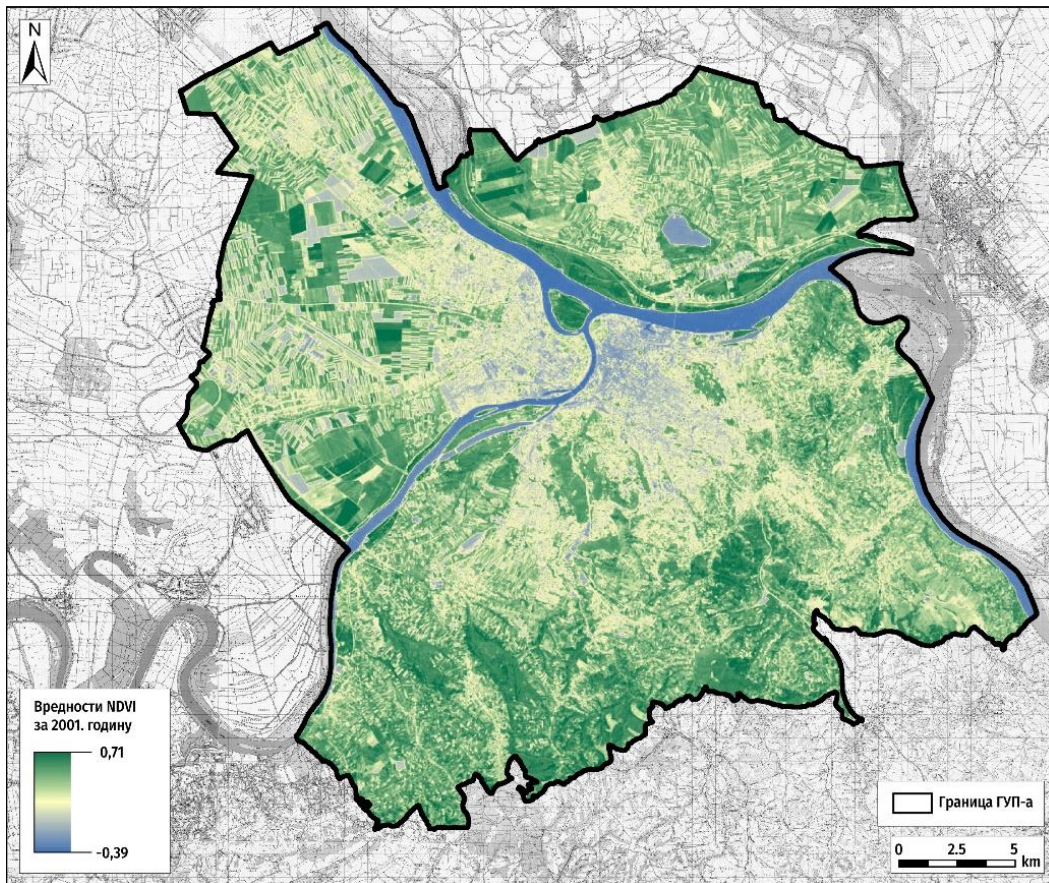
5.1. Класификација структуре земљишног покривача

Генерисање структуре земљишног покривача представља прву фазу при анализи интензитета ерозије земљишта. Класификација структуре земљишног покривача заснована је на анализи података добијених обрадом сателитских снимака који данас представљају један од најпоузданијих извора информација. Да би се добила што квалитетнија карта земљишног покривача, са тачним резултатима класификација и квантитативно описаним категоријама, поред комбинације спектралних канала коришћени су и спектрални индекси. Основ за класификацију земљишног покривача представља комбинација мултиспектралних канала, док су спектрални индекси додатни извори информација које побољшавају тачност класификације.

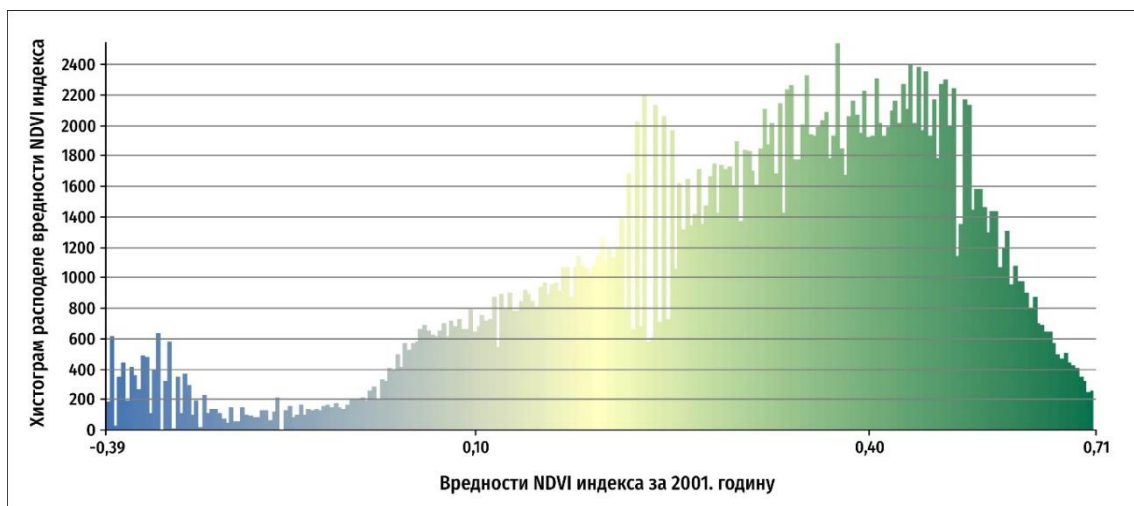
5.1.1. Резултати анализа спектралних индекса за референтни период

За потребе класификације типова земљишног покривача коришћена су три спектрална индекса, добијена на основу обраде сателитских снимака описаних у потпоглављу 3.1. Из групе *вегетационих индекса* коришћени су NDVI и EVI индекс, док из је групе *индекса за воду* коришћен MNDWI. Вегетациони индекси имају улогу да појачају вегетациони сигнал и да минимизирају соларно зрачење и ефекте позадине. Индекси за воду су развијени како би нагласили присуство површинске воде на самом снимку, односно терену.

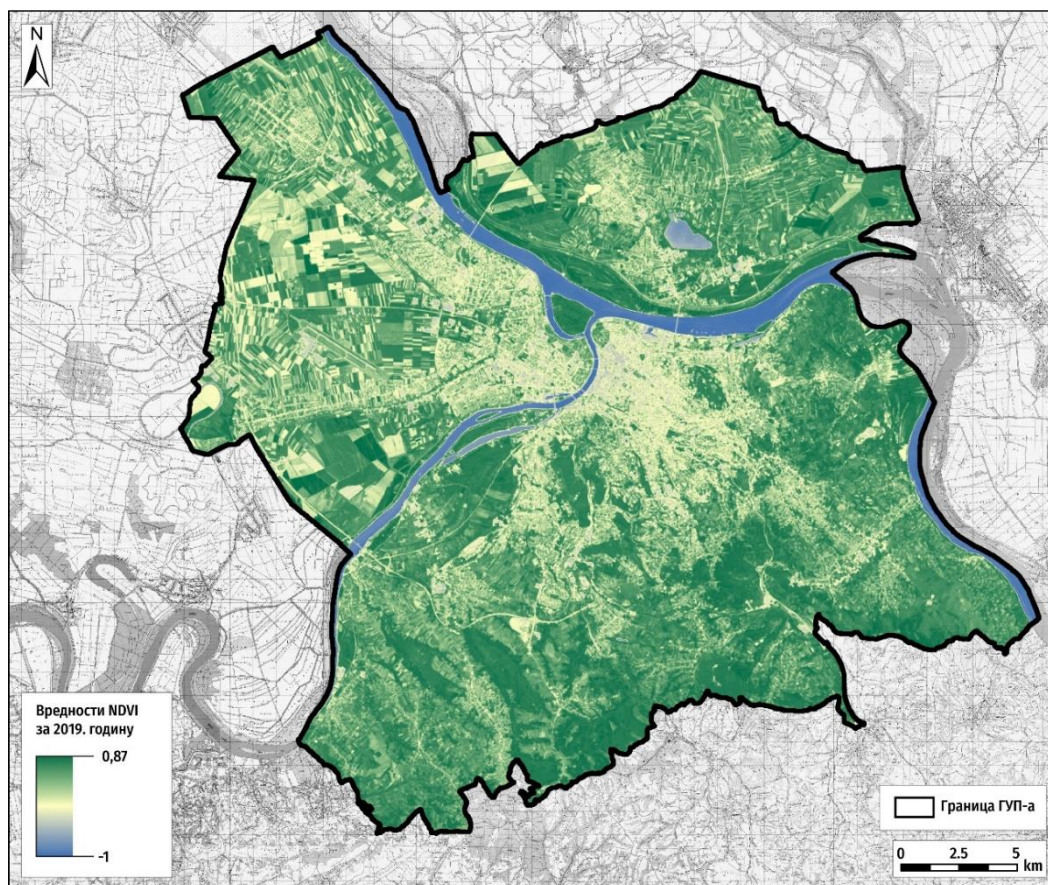
Вегетациони индекс NDVI представља један од најчешће коришћених индекса за мапирање вегетације. Вредности NDVI могу да буду у распону од -1 до +1. Негативне вредности показују присуство воде, снега и облака, док су позитивне вредности блиске +1 указују на постојање густе вегетације. Вредности NDVI индекса за први временски пресек имају распон вредности од -0,39 до 0,71, (слика 5.1.), са средњом вредношћу од 0,30 (слика 5.2.). Анализом другог временског пресека, помоћу сателитског снимка из 2019. године, установљен је распон вредности NDVI индекса од -1 до 0,87 (слика 5.3.), са средњом вредношћу 0,54 (слика 5.4.).



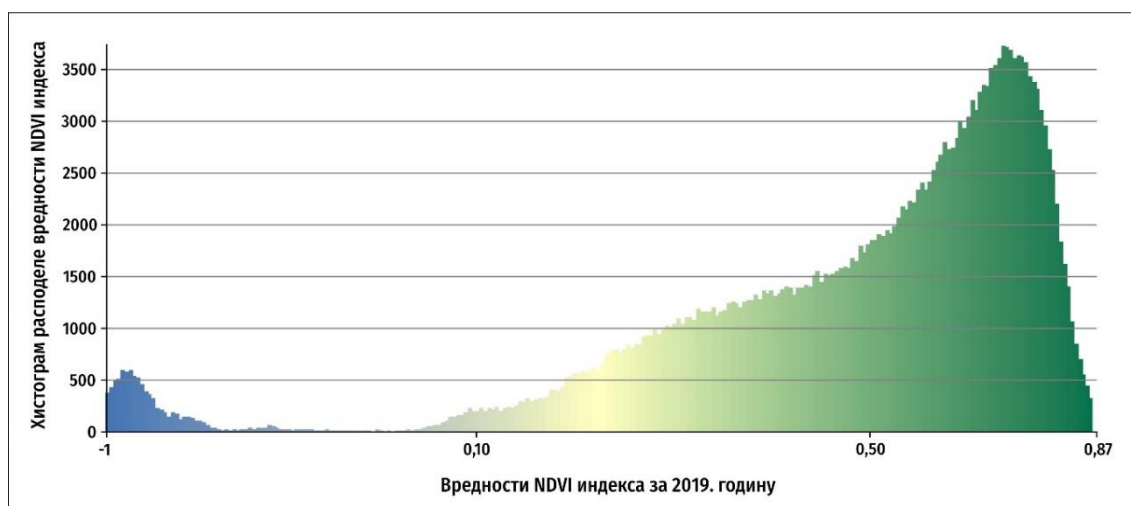
Слика 5.1. Просторни распоред NDVI индекса за 2001. годину



Слика 5.2. Хистограм расподеле NDVI индекса за 2001. годину

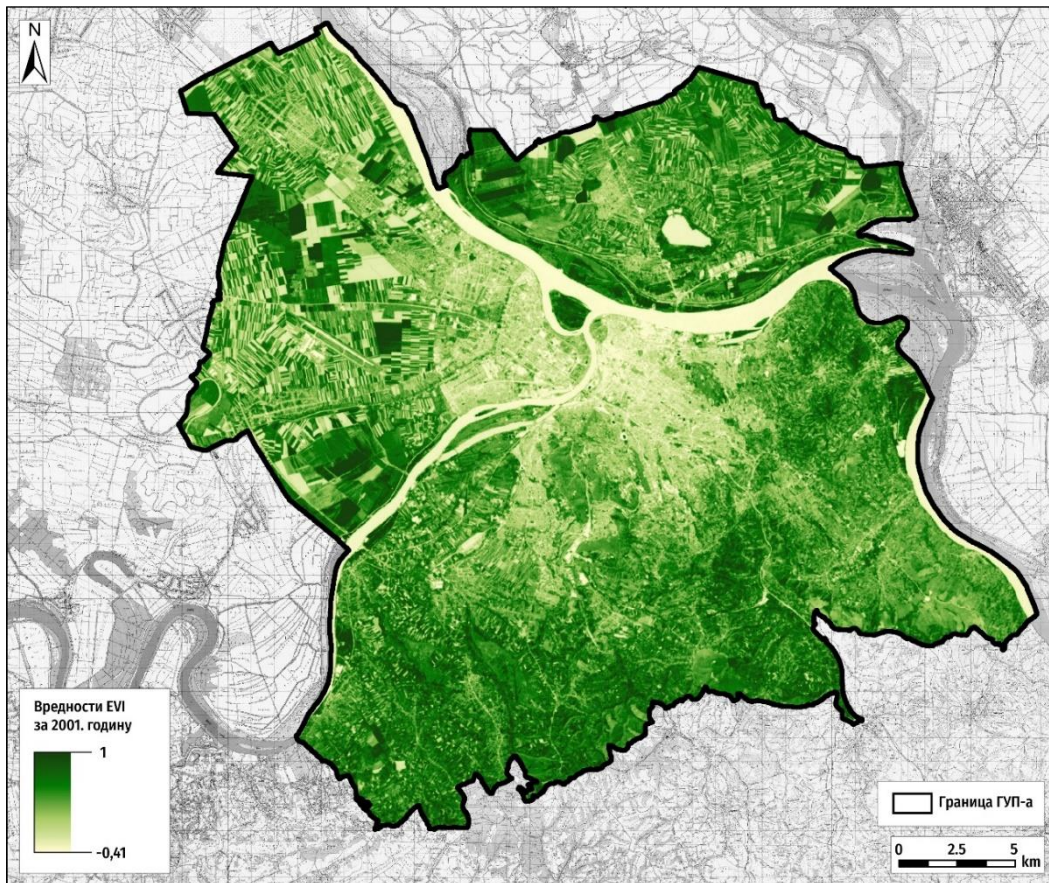


Слика 5.3. Просторни распоред NDVI индекса за 2019. годину



Слика 5.4. Хистограм расподеле NDVI индекса за 2019. годину.

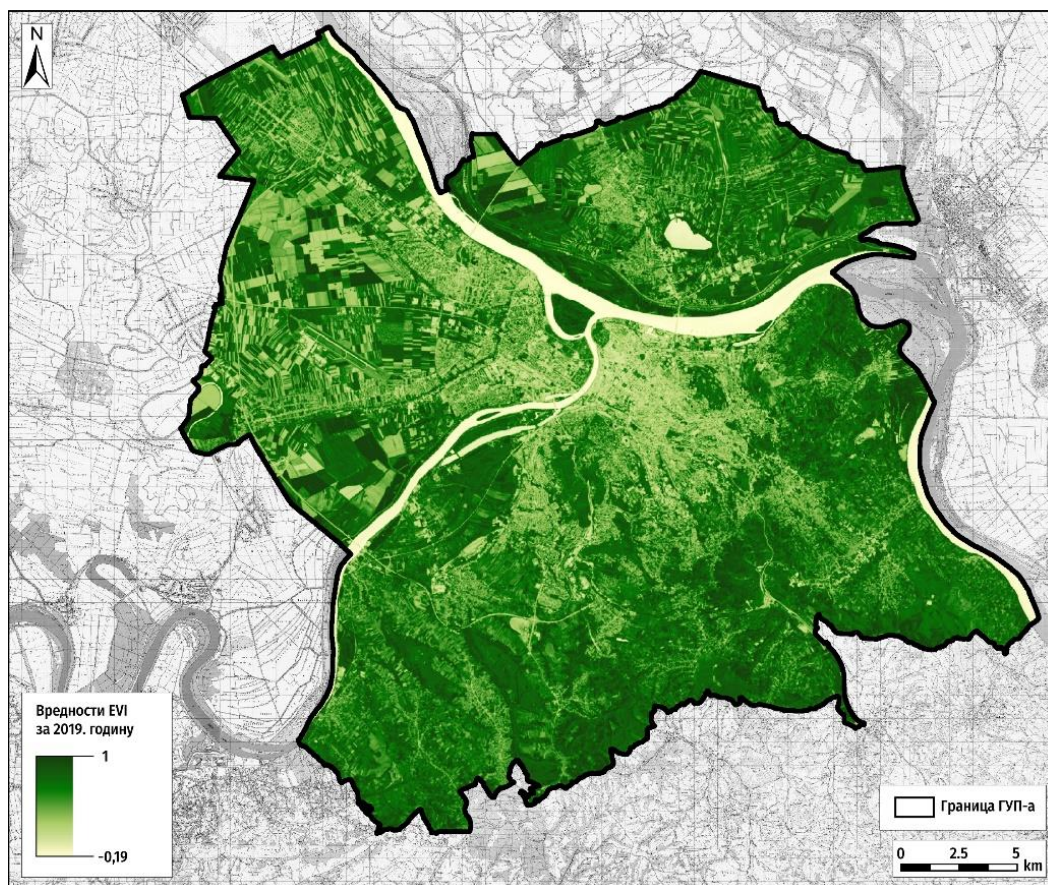
Побољшани индекс вегетације (EVI) представља други индекс из групе *вегетационих индекса* који је коришћен за потребе израде ове дисертације. Улога EVI индекса и вредности су сличне као и код NDVI индекса. Примена EVI индекса омогућава пружање додатних информација о просторним и временским варијацијама вегетације. Поред тога, EVI се примењује и у корекцији грешака која се јављају код NDVI индекса, као што су грешке са позадином вегетационог покривача и резидуалним утицајем аеросола. Анализом снимка из 2001. године, вредности EVI индекса су у распону од -0,41 до 1 (слика 5.5.) са средњом вредношћу за цело истраживано подручје 0,42 (слика 5.6.). Према сателитском снимку из 2019. године, вредности EVI индекса за истраживано подручје имају распон вредности од -0,19 до 1 (слика 5.7.), са средњом вредношћу од 0,55 (слика 5.8.).



Слика 5.5. Просторни распоред EVI индекса за 2001. годину



Слика 5.6. Хистограм расподеле EVI индекса за 2001. годину



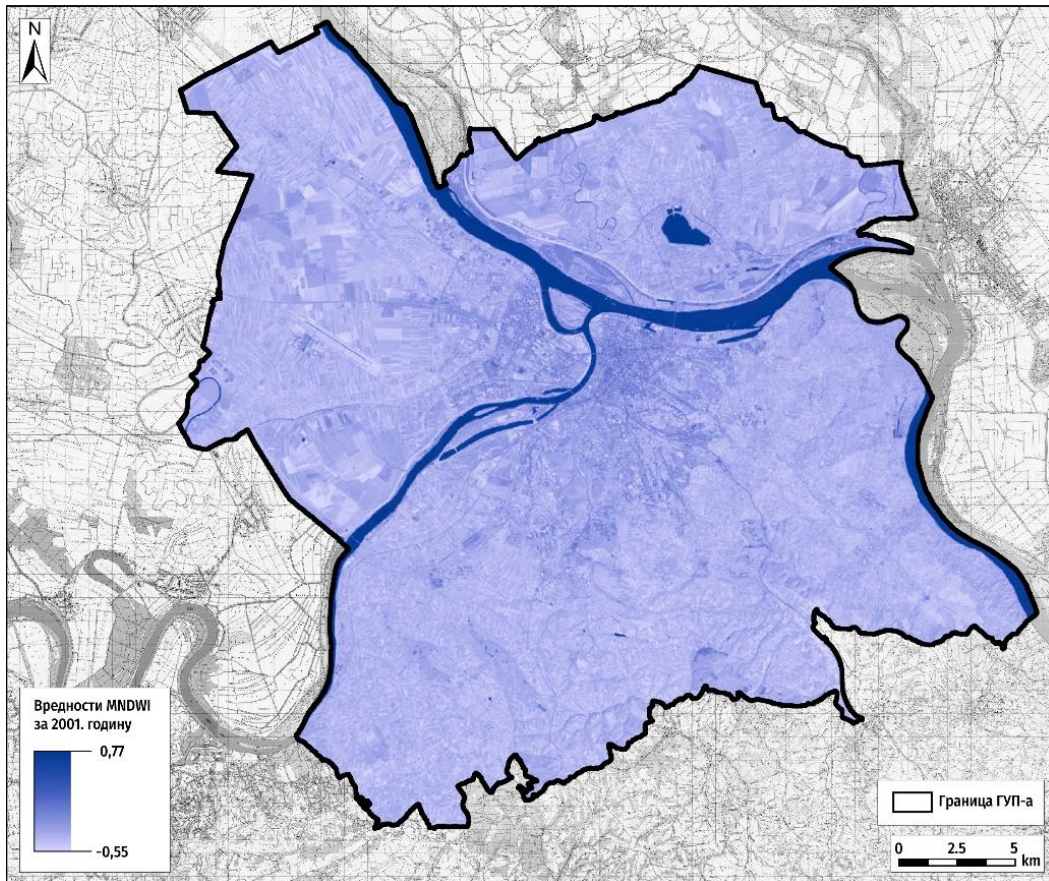
Слика 5.7. Просторни распоред EVI индекса за 2019. годину



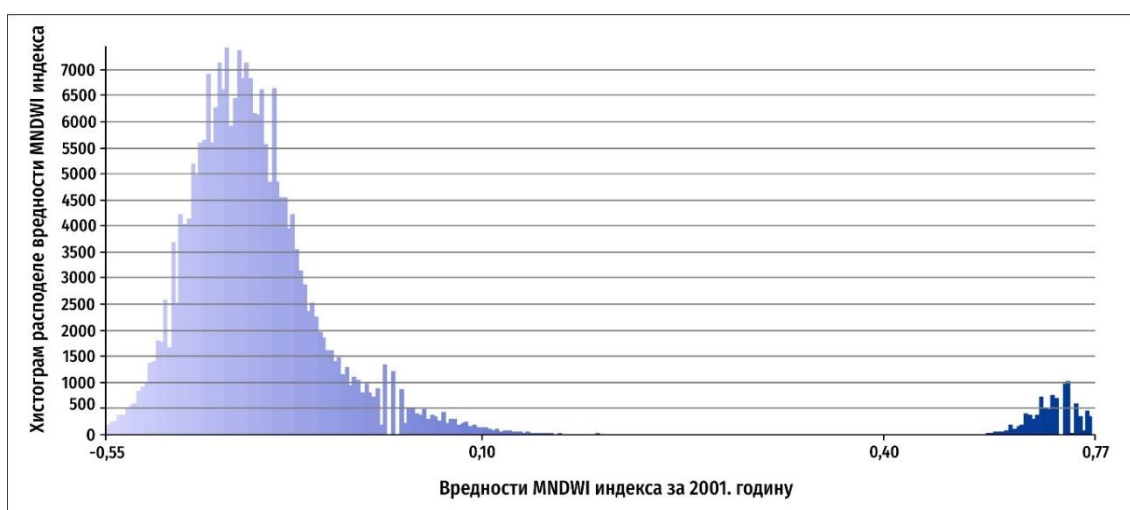
Слика 5.8. Хистограм расподеле EVI индекса за 2019. годину

Спектрални индекси за квантитативно описивање воде или водни индекси представљају индексе који се користе у мапирању и квантитативном описивању водених површина. У инвентаризацији и мапирању земљишног покривача, водене површине представљају важну категорију. Водене површине су природан ресурс и представљају динамичну категорију земљишног покривача јер се мењају у времену и простору. Један од најшире коришћених индекса за воду је *модификовани индекс воде нормализоване разлике* (MNDWI). Овај индекс представља спектралну вредност добијену емпиријским путем на основу зеленог и краткоталасног инфрацрвеног канала. Главни задатак MNDWI је анализа и издвајање површинских токова, и отклањање „конфузије воде“ (често се при обради снимака идентификују лажне водене површине) на местима изграђених површина и на местима присуства густе вегетације. Вредности индекса се крећу у распону од -1 до +1, где негативне

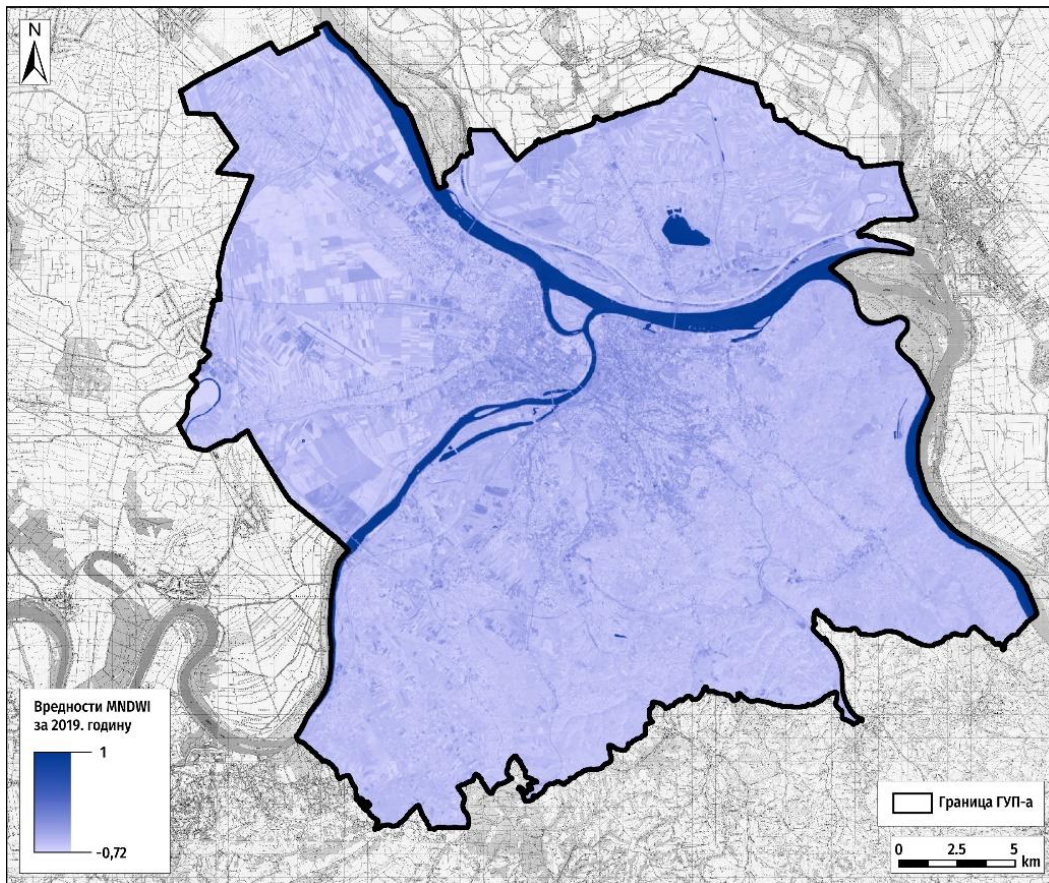
вредности указују на присуство вегетације, као и присуство изграђених и урбаних површина, а позитивне вредности указују на појаву водених површина. Применом формуле која је описана у методологији (потпоглавље 3.1), добијене су вредности MNDWI индекса за 2001. годину, у распону од -0,55 до 0,77 (Слика 5.9.), са средњом вредношћу од -0,09 (Слика 5.10.). Применом исте формуле на сателитски снимак из 2019. године, добијен је распон вредности MNDWI од -0,72 до 1 (Слика 5.11.). Средња вредност за цело истраживано подручје у посматраном периоду износи -0,28 (Слика 5.12.).



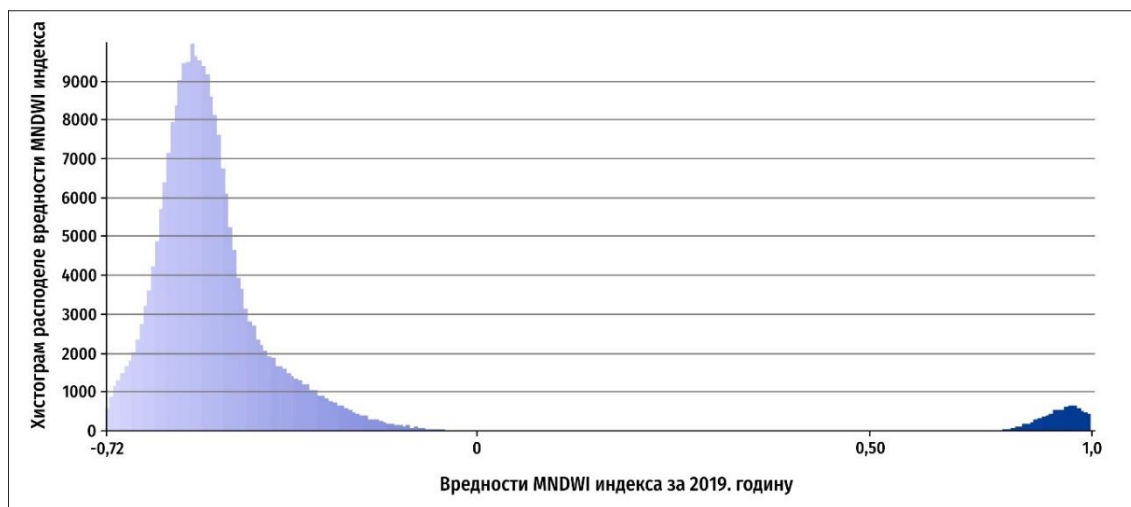
Слика 5.9. Просторни распоред MNDWI индекса за 2001. годину



Слика 5.10. Хистограм расподеле MNDWI индекса за 2001. годину.



Слика 5.11. Просторни распоред MNDWI индекса за 2019. годину



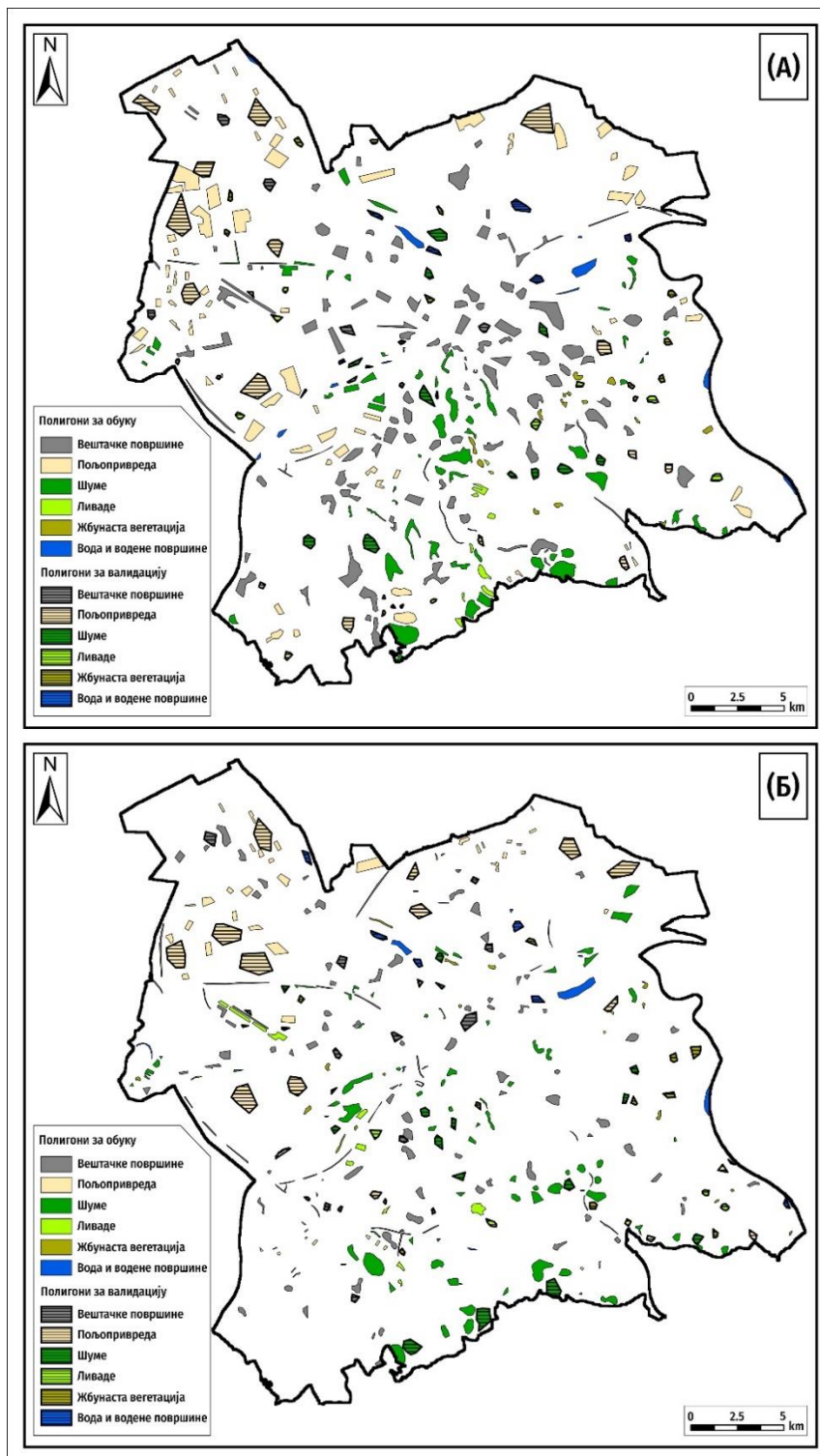
Слика 5.12. Хистограм расподеле MNDWI индекса за 2019. годину.

5.1.2. Оцена тачности класификације земљишног покривача

Након спровођења комплетне процедуре за класификацију земљишног покривача и израде тематске карте, извршена је процена тачности како би се утврдио квалитет класификације земљишног покривача применом даљинске детекције. Поступак провере тачности и квалитета тематске карте састоји се од упоређивања узорака са карте класификације земљишног покривача и референтних узорака. Референтни узорци за обуку и оцену тачности су прикупљени визуелно и применом векторизације, за сваку категорију на основу ортофото снимка, просторне резолуције од 40 cm за оба временска пресека. За сваку категорију референтни узорци су имали непристрасну репрезентацију ентитета који приказују (Слика 5.13.А и 5.13. Б). Да би се утврдила и тачност референтних узорака за сваку категорију, узорци су верификовани на основу теренских истражних радова. Према табели 5.1. приказане су основне информације о креираним скуповима података за обуку и оцену тачности утврђене структуре земљишног покривача. У односу на први временски пресек, коришћено је укупно 300 полигона за обуку, док је 70 полигона коришћено за оцену тачности класификације. За потребе класификације другог временског пресека коришћено је укупно 288 полигона за обуку и 72 полигона за оцену тачности класификације. Метода процене тачности која је коришћена заснива се на нивоу пиксела за добијање тачности класификације прорачуном матрице конфузије (матрица грешке). Да би се прорачунала матрица конфузије, као и мере тачности (укупна тачност, корисничка тачност, продуцентска тачност и Карра статистика) примењен је програмски језик R. У табелама 5.2. и 5.3. приказана је матрица конфузије са мерама тачности за оба временска пресека.

Табела 5.1. Укупан број векторизованих полигона за обуку и валидацију класификације земљишног покривача

Класе земљишног покривача	2001				2019			
	Полигони за обуку	km ²	Полигони за оцену тачности	km ²	Полигони за обуку	km ²	Полигони за оцену тачности	km ²
Вештачке површине	119	25,40	9	1,09	120	21,80	12	0,98
Водене површине	14	5,23	8	1,24	11	7,47	9	1,90
Шуме	67	14,08	11	2,85	74	12,42	15	3,32
Ливаде	10	1,05	15	0,93	14	1,55	10	1,09
Пољопривреда	76	17,88	16	1,13	46	14,09	15	0,72
Жбуње	14	1,08	11	9,59	23	1,89	11	10,06
Укупно	300	64,72	70	16,83	288	59,22	72	18,08



Слика 5.13. Узорци полигона за обуку и валидацију земљишног покривача за 2001. (А) и 2019. (Б)

Према табели 5.2., приказана је оцена тачности класификације земљишног покривача за 2001. годину. Матрица конфузије има униформну тачност на све класе земљишног покривача и она за први временски пресек износи 94,52%. Анализом по класама, утврђена је корисничка тачност која је најмања на ливадама (70,39%) и жбунастој вегетацији (81,77%). Знатно више вредности корисничке тачности су утврђене на пољопривредним (96,09%), затим на вештачким површинама (97,57%), шумама (99,33%) и воденим површинама (100%). Са аспекта продуцентске тачности, ниже вредности су забележене на ливадама (76,65%) и жбунастој вегетацији (77,89%). Већа продуцентска тачност је заступљена у класи шума (92,09%), вештачких површина (96,12%), пољопривредних површине (97,94%) и водених површина (100%). Применом Карра статистике, утврђена је тачност од 0,92 за први временски

пресек (2001. године), што је показатељ високог нивоа тачности класификације земљишног покривача.

Табела 5.2. Оцена тачности класификације земљишног покривача за 2001. годину (заснована на пикселима)

	2001	Референтне класе							Корисничка тачност (%)
	Класе	1	2	3	4	5	6	Укупно	
Резултати класификације	1	1477	0	0	0	0	0	1477	100
	2	0	2009	4	12	33	1	2059	97,57
	3	0	0	3109	6	1	14	3130	99,33
	4	0	22	118	803	36	3	982	81,77
	5	0	29	140	45	1001	207	1422	70,39
	6	0	30	5	165	235	10686	11121	96,09
	Укупно	1477	2090	3376	1031	1306	10911	20191	Укупна тачност 94,52%
	Продуцентска тачност (%)	100	96,12	92,09	77,89	76,65	97,94		Карра статистика 0,91

Класе: 1-Водене површине; 2-Вештачке површине; 3-Шуме; 4-Жбуње; 5-Ливаде; 6-Пољопривреда

Оцена тачности класификације земљишног покривача за други временски пресек (2019. годину) приказана је у табели 5.3. Укупна тачност износи 96,91%, док Карра статистика даје тачност од 0,96, што су такође високи нивои тачности класификације. У погледу на корисничку тачност према класама земљишног покривача, најмања тачност је забележена под класом ливада (71,26%) и вештачким површинама (88,37%). Веће вредности корисничке тачности забележене су код жбунасте вегетације (90,20%), затим шума (98,83%), пољопривредних (99,57%) и водених површина (99,82%). Продуцентска тачност је најмања на вештачким површинама (66,67%), или под класом жбуња (85,88%), док највећу тачност има класа ливада (97,24%), шума (97,48%), пољопривреде (97,84%) и водених површина (100%).

Табела 5.3. Оцена тачности класификације земљишног покривача за 2019. годину (заснована на пикселима)

	2019	Референтне класе							Корисничка тачност (%)
	Класе	1	2	3	4	5	6	Укупно	
Резултати класификације	1	1087	2	0	0	0	0	1089	99,82
	2	0	76	0	10	0	0	86	88,37
	3	0	0	4646	40	5	10	4701	98,83
	4	0	14	99	1040	0	0	1153	90,20
	5	0	10	19	109	915	231	1284	71,26
	6	0	12	2	12	21	10935	10982	99,57
	Укупно	1087	114	4766	1211	941	11176	19295	Укупна тачност 96,91%
	Продуцентска тачност (%)	100	66,67	97,48	85,88	97,24	97,84		Карра статистика 0,96

Класе: 1-Водене површине; 2-Вештачке површине; 3-Шуме; 4-Жбуње; 5-Ливаде; 6-Пољопривреда

5.1.3. Промена структуре земљишног покривача за референтни период

Анализа промене структуре земљишног покривача за референтни период заснована је на праћењу промена за сваку категорију посебно. Индикатор промене се израчунава применом софтверског пакета Map Comparison Kit 3, на основу резултата добијених даљинском детекцијом, што је приказано у поглављу 5.1.2. Добијене промене су приказане нумерички, табеларно и графички, у квадратним километрима и процентима, за референтни временски период. У табели 5.4. приказана је матрица промена структуре земљишног покривача, у процентима. Дијагоналне вредности представљају процентуалну заступљеност сваке категорије земљишног покривача која је идентификована за оба референтна периода. Приказани најнижи ред у табели 5.4. садржи вредности процентуалне заступљености појединих категорија за 2019. годину, док крајња десна колона приказује проценте заступљености површина за сваку категорију, за 2001. годину. Матрица се прорачунава за сваку категорију земљишног покривача посебно. На основу података у табели 5.4. поред промене, приказана је пренамена према класама земљишног покривача. Са аспекта статуса пољопривредног земљишта из 2001. године, 4,7% је прешло у категорију вештачке површине, док је око 10,2% трансформисано у категорије ливаде, жбуње и шуме. Поред овога, треба узети у обзир и да оцена квалитета класификације за 2001. годину указује да је око 26% пиксела класификовано као ливада, а у стварности ти пиксели припадају категоријама жбуња или пољопривредних површина, што је последица функционисања матрице препознавања самог класификатора.

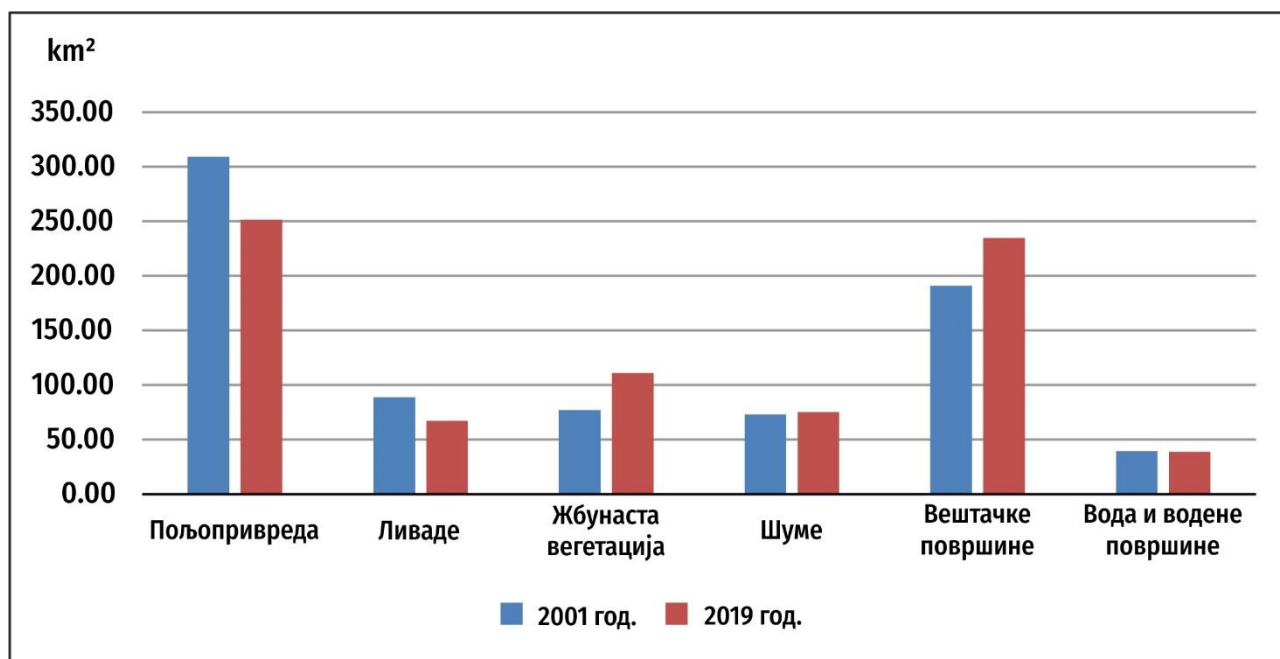
Табела 5.4. Матрица промене структуре земљишног покривача у процентима

		2019						
Класе		Пољопривреда	Ливаде	Жбуње	Шуме	Вештачке површине	Водене површине	Укупно
2001	Пољопривреда	24,8	4,1	4,8	1,3	4,7	0,0	39,7
	Ливаде	4,2	2,2	1,9	0,9	2,1	0,0	11,4
	Жбуње	1,9	0,9	3,6	1,0	2,5	0,1	9,9
	Шуме	0,3	0,4	2,1	6,4	0,2	0,0	9,4
	Вештачке површине	1,1	1,0	1,7	0,1	20,6	0,1	24,5
	Водене површине	0,0	0,0	0,2	0,0	0,1	4,7	5,1
	Укупно	32,3	8,6	14,3	9,7	30,2	5,0	100,0

Креиране карте земљишног покривача су искоришћене ради издвајања површина под променама. У табели 5.5. и као и на слици 5.14., приказане су промене сваке категорије земљишног покривача за посматрани период. Највеће негативне промене, односно губитак површина забележен је под пољопривредним површинама и ливадама. Позитивне промене у површинама забележене су под категоријом урбанизованих (односно вештачких и непорозних површина), као и под категоријом жбунасте вегетације. Анализом матрице промене, утврђен је губитак пољопривредних површина од 18,66%, које су трансформисане у вештачке површине, ливаде и жбунасту вегетацију. Сталан раст броја становника, условио је и повећану потражњу за грађевинским парцелама, углавном на рачун пољопривредног земљишта периферних урбаних подручја (Shikangalah et al., 2016; Pribadi et al., 2018).

Табела 5.5. Промена структуре земљишног покривача у km² и процентима

Класе	2001	2019	промене у km ²	промене у %
Пољопривреда	309,10	251,41	-57,69	-18,66
Ливаде	88,75	67,14	-21,62	-24,36
Жбуње	77,26	111,07	33,80	43,75
Шуме	73,12	75,35	2,23	3,06
Вештачке површине	190,87	234,88	44,00	23,05
Водене површине	39,40	38,69	-0,71	-1,80
Укупно	778,51	778,51	0,01	25,04

Слика 5.14. Дијаграм промена структуре земљишног покривача у km²

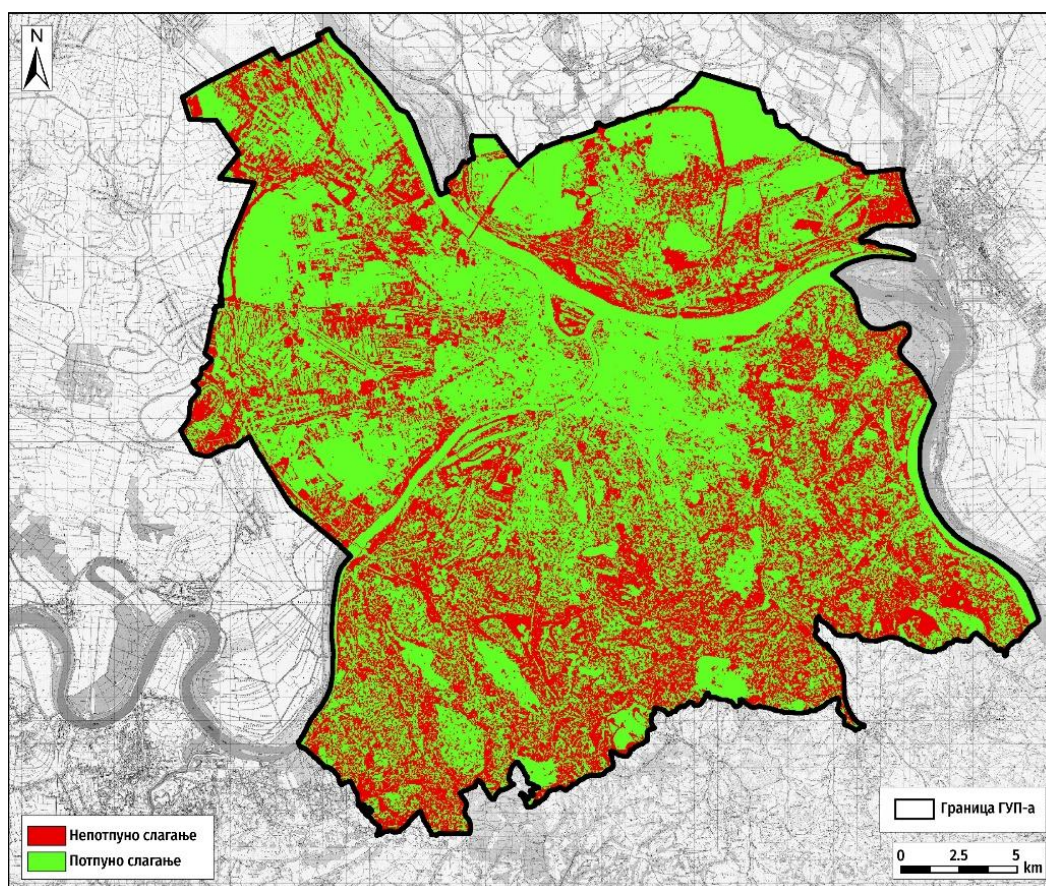
Да би се проценила сличност као и настале промене између карата земљишног покривача за 2001. и 2019. годину, примењен је Карра индекс (поглавље 3.6.) Добијени резултати су приказани у табели 5.6. Вредности Карра статистике се заснивају на директном поређењу сваке ћелије пиксела на посматраним картама (из 2001. и 2019. године), тако да је просторна дистрибуција слагања класа (односно промена) приказана на слици 5.15. На основу приказаних резултата може се закључити да је дошло до промена у класама земљишног покривача на значајном делу подручја ГУП-а. Вредности $K_{Location}$ и K_{Histo} приказују да је дошло до промена у заступљености класа земљишног покривача на подручју ГУП-а у периоду од 2001. до 2019. године.

Табела 5.6. Вредности Карра, $K_{Location}$, K_{Histo} за истраживано подручје

Карра статистика	Вредности
Карра	0,505
$K_{Location}$	0,583
K_{Histo}	0,865

Резултати примене Карра индекса за сваку категорију земљишног покривача су приказани у табели 5.7. Највеће разлике и промене забележене су у категоријама ливада, жбунасте вегетације и пољопривредних површина, које су доживеле делимичну транзицију у друге категорије земљишног покривача. Вештачке површине и шумска вегетација показују умерену категорију слагања, што указује на благу транзицију. Категорија водених површина показује

потпуно слагање што указује да није било транзиције у друге категорије земљишног покривача.



Слика 5.15. Просторна дистрибуција слагања (поклапања) карата земљишног покривача из 2001. и 2019. године

Табела 5.7. Вредности Карра, $K_{Location}$, K_{Histo} по категоријама земљишног покривача

Категорија	Карра	$K_{Location}$	K_{Histo}
Водене површине	0,943	0,952	0,990
Вештачке површине	0,660	0,769	0,858
Шуме	0,631	0,641	0,983
Жбуње	0,201	0,252	0,796
Ливаде	0,139	0,164	0,846
Пољопривреда	0,515	0,613	0,840

5.2. Примена Методе Потенцијала ерозије за референтни период

Резултати истраживања су добијени и анализирани на основу примењене методологије, која је описана у поглављу 3.2.

5.2.1. Температурни коефицијент подручја (Т)

Температурни коефицијент се рачуна према формули која је описана у поглављу 3.2.1., на основу средње годишње температуре ваздуха. Због непостојања константног мерења температуре ваздуха на свим станицама на истраживаном подручју, коришћена је једино метеоролошка станица Београд Опсерваторија. Температурни коефицијент за први временски пресек, односно за 2001. годину износи 1,14. Други временски пресек (2019. година), представљају подаци који су добијени на основу симулираних климатских сценарија (RCP8.5)

за будући период тј. средину века (2046-2065 године). Према другом временском пресеку, температурни коефицијент износи 1,23.

5.2.2. Средња годишња количина падавина (H_{god})

Средња годишња количина падавина, дефинисана је за два временска пресека, по истом принципу као и температурни коефицијент подручја. Први временски пресек представљен је средњом годишњом количином падавина за период од 1971. до 2001. године, која износи 664,72 mm (Слика 4.6.). Други временски пресек представљен је средњом годишњом количином падавина, одређено према климатском сценарију RCP8.5, за средину века (2046-2065 године). Коришћењем климатског сценарија RCP8.5 на расположиве метеоролошке станице, као и применом геостатистичке методе интерполације, добијен је просторни распоред вредности средње годишње количине падавина. Симулирана просечна годишња количина падавина на истраживаном подручју износи 728,57 mm, са распоном вредности од 690,98 mm до 764,91 mm (Слика 4.7.). Посматрајући оба временска пресека, може се утврдити да ће доћи до раста средње годишње количине падавина за 5% до 10%, према климатском сценарију RCP8.5.

5.2.3. Коефицијент отпора земљишта на ерозију (Y)

За потребе ове дисертације, примењене су оригиналне вредности коефицијента Y , према Гавриловићу (Gavrilović, 1972), које су додељене у форми атрибута дигитализованој педолошкој карти. На истраживаном подручју, вредности коефицијента Y се крећу од 0,5 до 2, са средњом вредношћу од 0,72 за цело истраживано подручје (Слика 5.16.). Добијена вредност коефицијента Y , примењена је за оба временска пресека, за 2001. и 2019. годину.

5.2.4. Коефицијент уређења слива ($X \cdot a$)

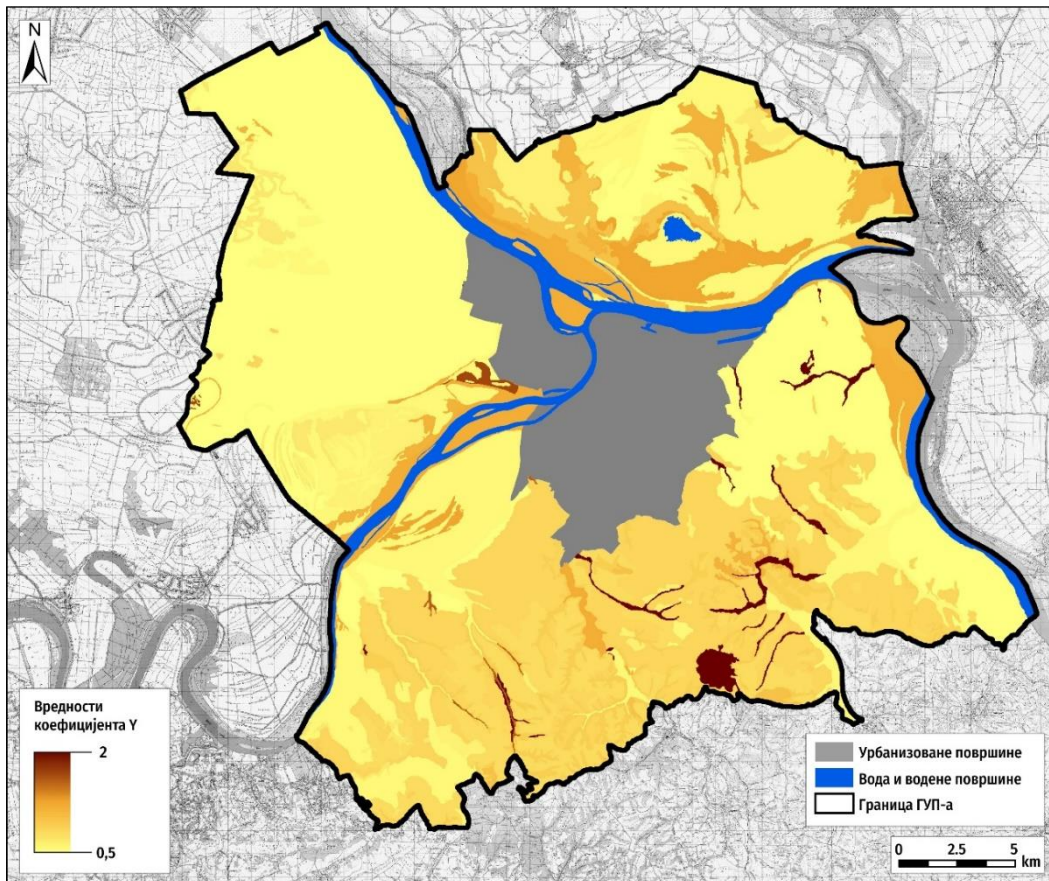
Вредности $X \cdot a$ за оба временска пресека се крећу у распону од 0 до 0,8, са просечном вредношћу од 0,42 (2001. година) и 0,37 (2019. година) (Слике 5.17. и 5.18.). Вредности коефицијента $X \cdot a$ су примењене према оригиналној методологији Гавриловића (Gavrilović, 1972), и додељиване су у форми атрибута картама земљишног покривача.

5.2.5. Коефицијент видљивих и јасно изражених ерозионих процеса (ϕ)

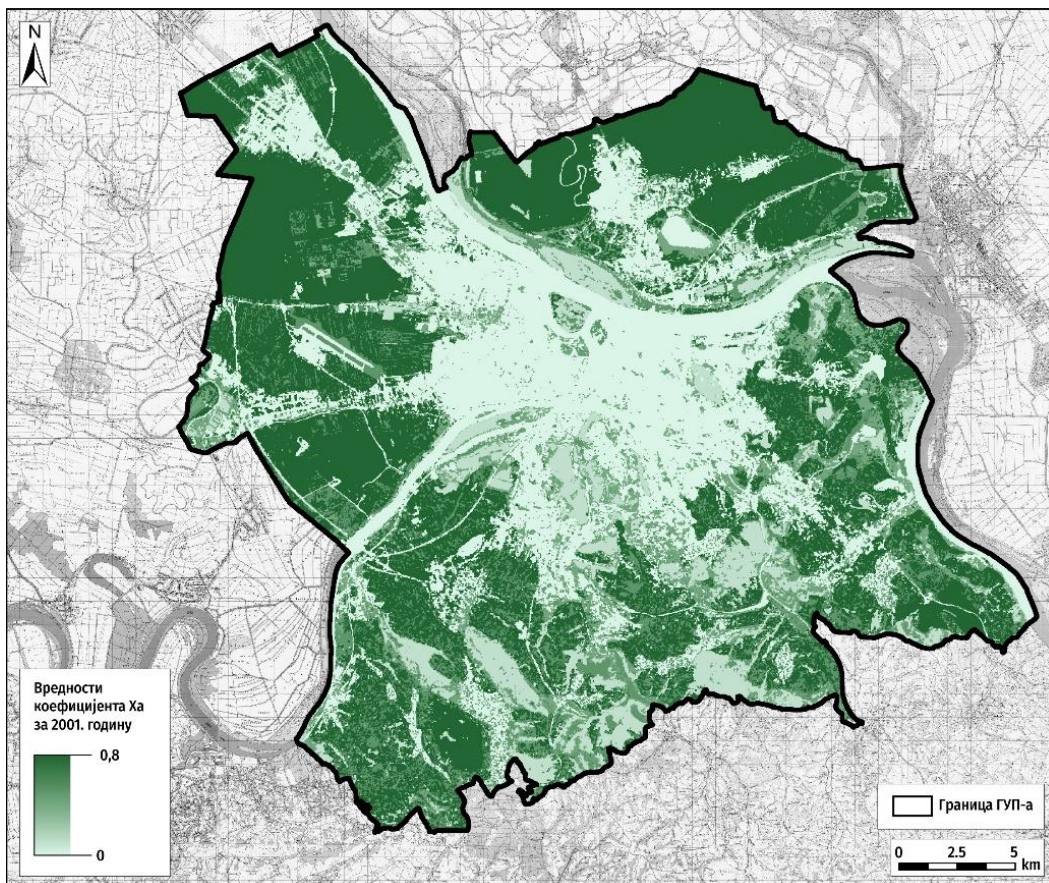
Коефицијент ϕ је коришћен у растерској форми, где је основна база података представљена картама земљишног покривача, за оба временска пресека (2001. и 2019. година). Распон вредности коефицијента ϕ за оба временска пресека износи од 0 до 0,4, док је просечна вредност за 2001. годину 0,22, а за 2019. годину износи 0,19 (Слика 5.19. и 5.20.).

5.2.6. Средњи нагиб терена на истраживаном подручју

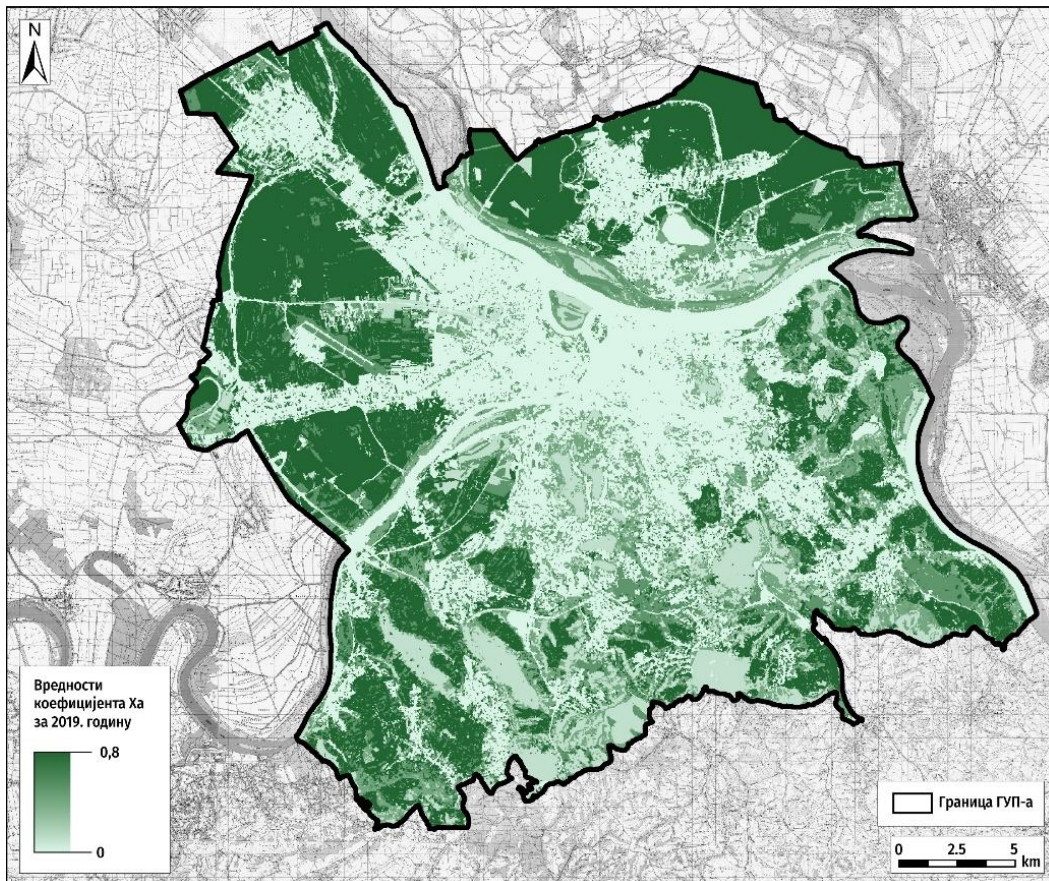
Растерски подаци о средњем нагибу терена истраживаног подручја су креирани на основу података паневропске базе података EU-DEM о надморским висинама, који су јавно доступни у оквиру Copernicus програма. Подаци EU-DEM су подаци дигиталног модела површи просторне резолуције 25 m (<https://www.eea.europa.eu>). С обзиром да су коришћени сателитски снимци Landsat мисије са просторном резолуцијом од 30 m, ради добијања исте просторне резолуције са истим бројем редова и колона, примењена је трансформација EU-DEM на просторну резолуцију од 30 m. Метода трансформације просторне резолуције на EU-DEM је примењен у ГИС окружењу коришћењем *bilinear resampling* технике. Средњи нагиб терена просторне резолуције од 30 m је коришћен за оба временска пресека (Слика 5.21.).



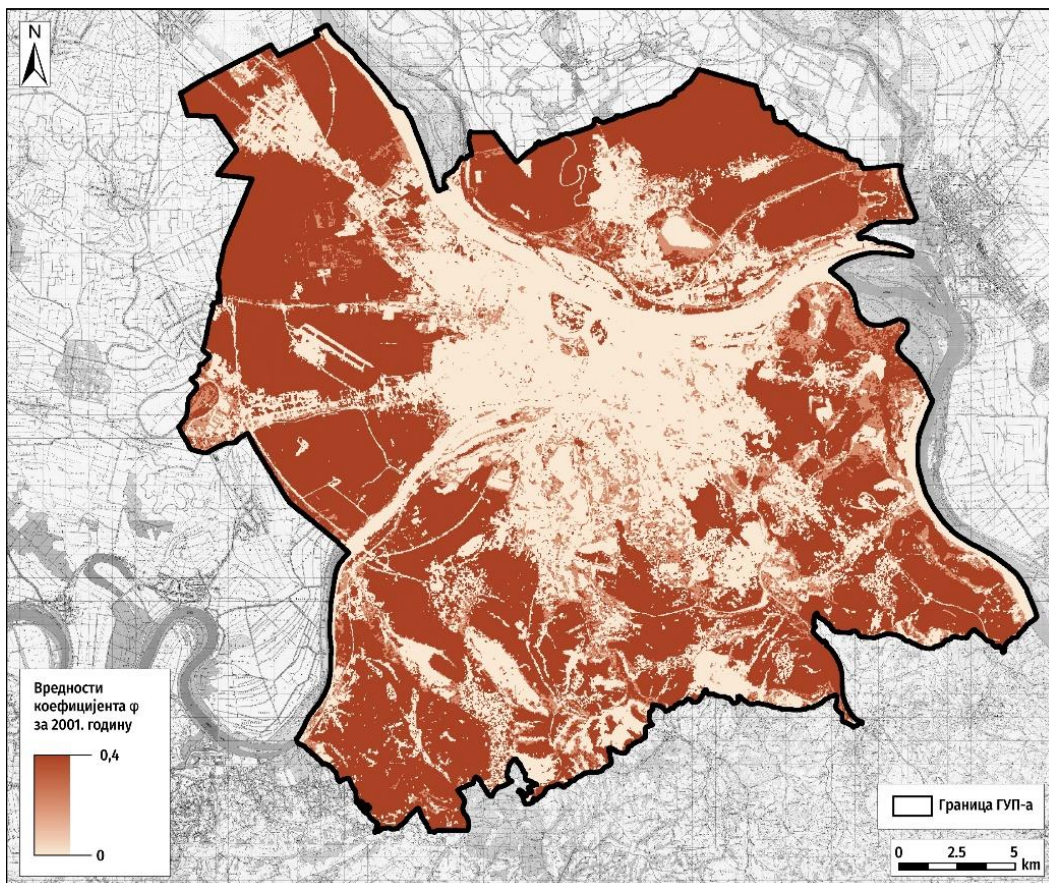
Слика 5.16. Просторна дистрибуција коефицијента отпорности земљишта на ерозију (Y)



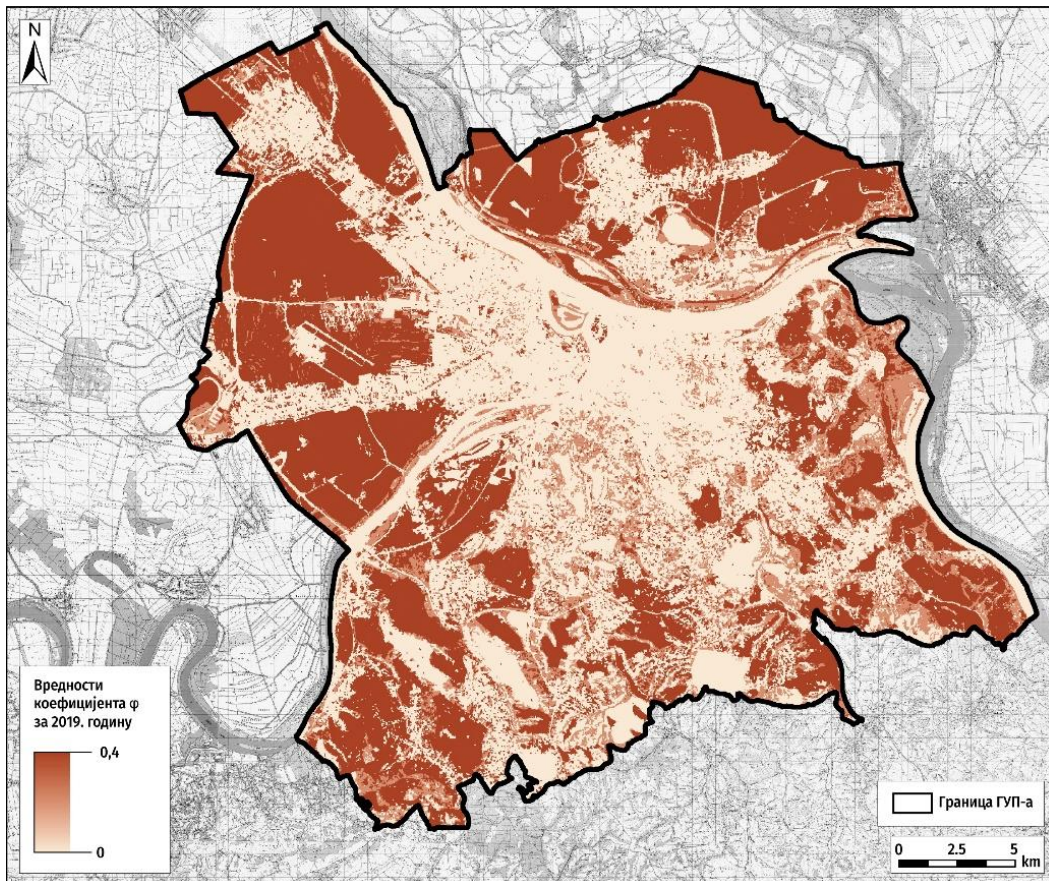
Слика 5.17. Просторна дистрибуција коефицијент уређења слива (X·a) за 2001. годину



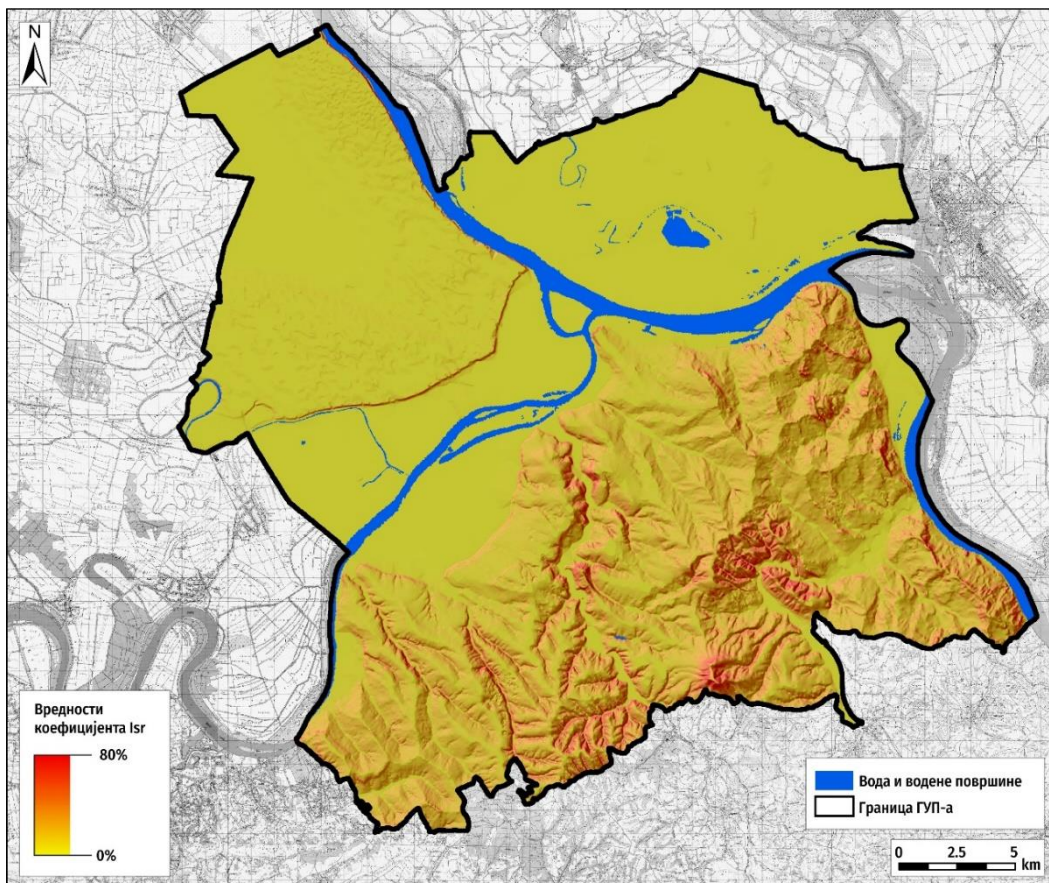
Слика 5.18. Просторна дистрибуција коефицијент уређења слива (X-a) за 2019. годину



Слика 5.19. Просторна дистрибуција коефицијента видљивих и јасно изражених ерозионих процеса (ϕ) за 2001. годину



Слика 5.20. Просторна дистрибуција коефицијента видљивих и јасно изражених ерозионих процеса (ϕ) за 2019. годину



Слика 5.21. Просторна дистрибуција нагиба терена на истраживаном подручју

5.2.7. Коэффициент ерозије (Z)

Коэффициент ерозије Z се добија применом аналитичког израза приказаног у поглављу 3.2.3., на основу параметара Y, X·a, φ и Isr. Вредности добијеног коефицијента ерозије Z, према оригиналној методи Гавриловића (Gavrilović, 1972), представљају категорију разорности и јачине ерозионих процеса на истраживаном подручју. На подручју ГУП-а коефицијент ерозије Z је прорачунат за оба временска пресека и изражен кроз просечне, минималне и максималне вредности. Просечна вредност коефицијента ерозије Z за 2001. годину, износи $Z_{sr}=0,22$, што сврстава подручје ГУП-а у категорију слабе површинске ерозије, са распоном вредности коефицијента $Z=0,01-1,75$ (Слика 5.22.). Просечна вредност коефицијента ерозије Z за 2019. годину износи $Z_{sr}= 0,20$, што означава слабу ерозију површинског типа, са распоном вредностима $Z=0,01-1,72$ (Слика 5.23.). У табелама 5.8. и 5.9 приказана је заступљеност појединих категорија ерозије, на основу вредности коефицијента ерозије Z. Прорачун коефицијента ерозије Z, као и продукција ерозионог материјала су анализирани само на површинама које су изложене деловању интензивних ерозионих процеса (пољопривредне површине, шуме, ливаде, жбунаста и ниска вегетација, полу-природна подручја и сл.). Урбанизована подручја са израженим учешћем непорозних површина, реке, језера, влажна станишта и слично су искључена из анализе (Panagos et al., 2015a). Оваква методологија је примењена на подручју Европске Уније приликом прорачуна губитака земљишта, коришћењем модела RUSLE2015 (Panagos et al., 2015a). Према табели 5.8., за 2001. годину, ерозија је на истраживаном подручју заступљена у свим категоријама разорности. Највећу заступљеност има врло слаба ерозија, односно 53,36% од укупне анализиране површине. Укупна анализирана површина која је подложна ерозионим процесима износи 526,46 km², односно 67,62% од укупне површине ГУП-а.

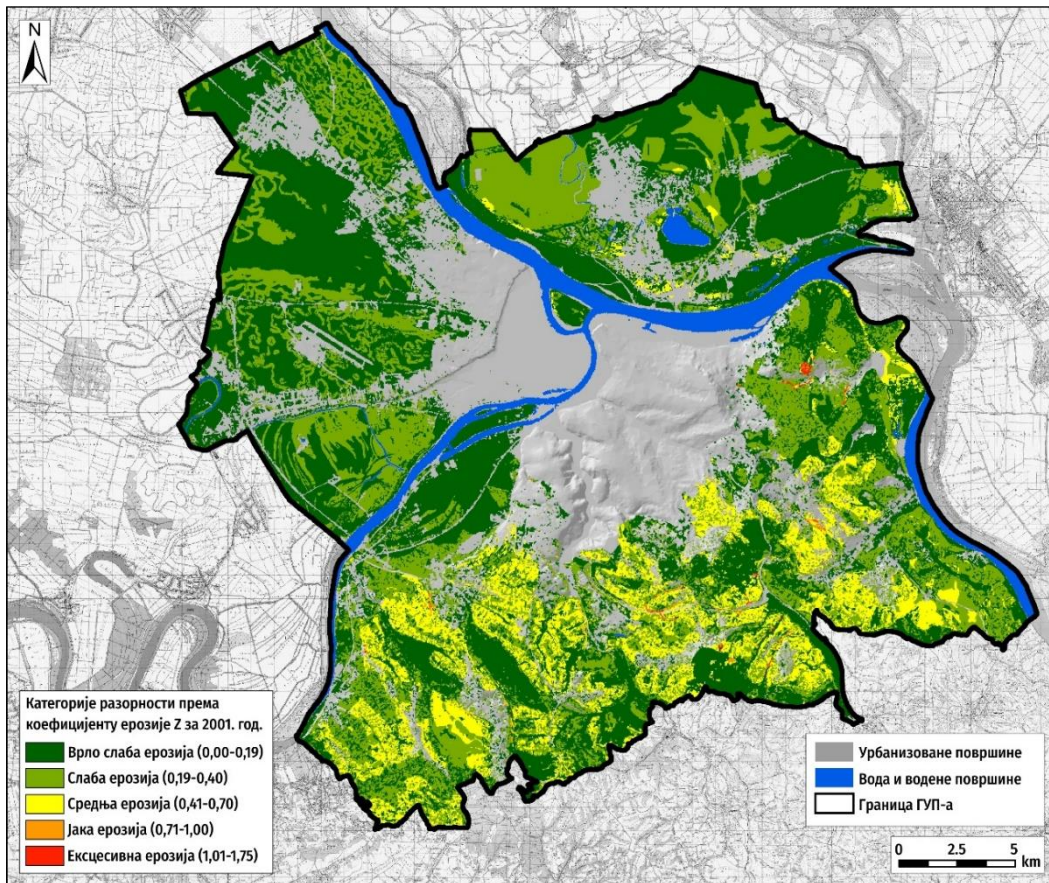
Табела 5.8. Коэффициент ерозије Z на истраживаном подручју за 2001. годину

Категорија разорности	Јачина ерозионих процеса	Коэффициент ерозије Z	km ²	%
I	Експесивна ерозија	>1,01	0,60	0,11
II	Јака ерозија	0,71-1,00	0,97	0,18
III	Средња ерозија	0,41-0,70	63,64	12,09
IV	Слаба ерозија	0,20-0,40	180,32	34,25
V	Врло слаба ерозија	0,01-0,19	280,93	53,36
Укупно			526,46	100,00

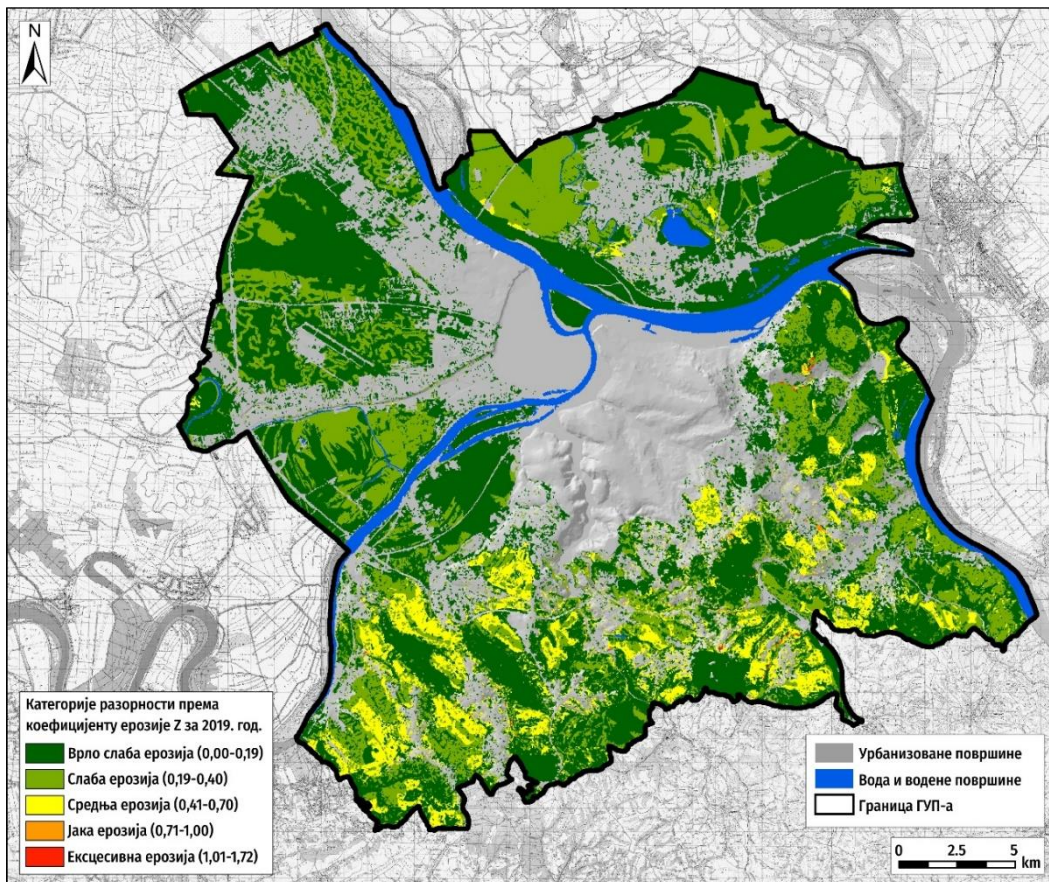
Према анализама за 2019. године, утврђене су све категорије разорности од експесивне до врло слабе ерозије. У односу на временски пресек из 2001. године, повећао се проценат под урбанизованим површинама и непорозним застором, тако да је укупна површина изложена ерозионим процесима утврђена на 481,39 km², односно 61,83% од укупне површине ГУП-а. С обзиром да је за око 5,79% смањена површина која је изложена деловању ерозионих процеса, просечна вредност коефицијента ерозије $Z=0,20$, се налази у категорији слабе ерозије, док је максимална вредности изнад 1,7.

Табела 5.9. Коэффициент ерозије Z на истраживаном подручју за 2019. годину

Категорија разорности	Јачина ерозионих процеса	Коэффициент ерозије Z	km ²	%
I	Експесивна ерозија	>1,01	0,31	0,06
II	Јака ерозија	0,71-1,00	0,43	0,09
III	Средња ерозија	0,41-0,70	45,42	9,43
IV	Слаба ерозија	0,20-0,40	141,47	29,39
V	Врло слаба ерозија	0,01-0,19	293,76	61,02
Укупно			481,39	100,00



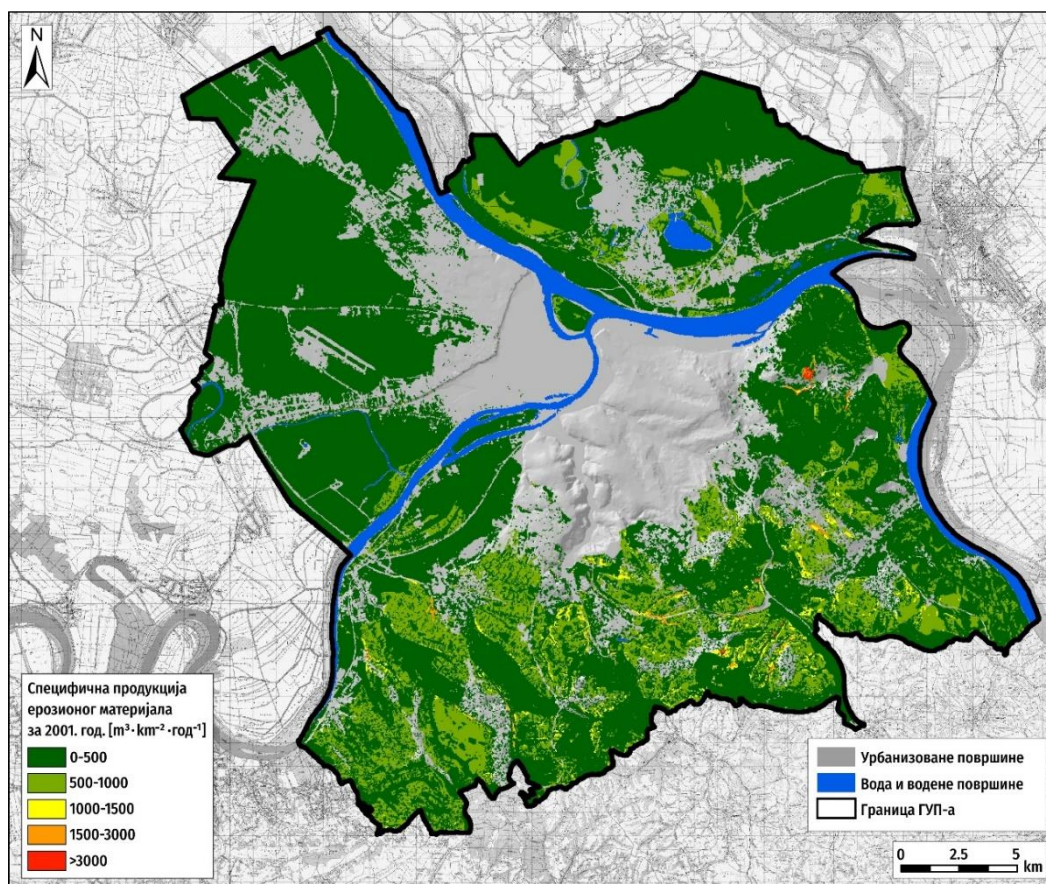
Слика 5.22. Просторна расподела коефицијента ерозије Z за 2001. годину



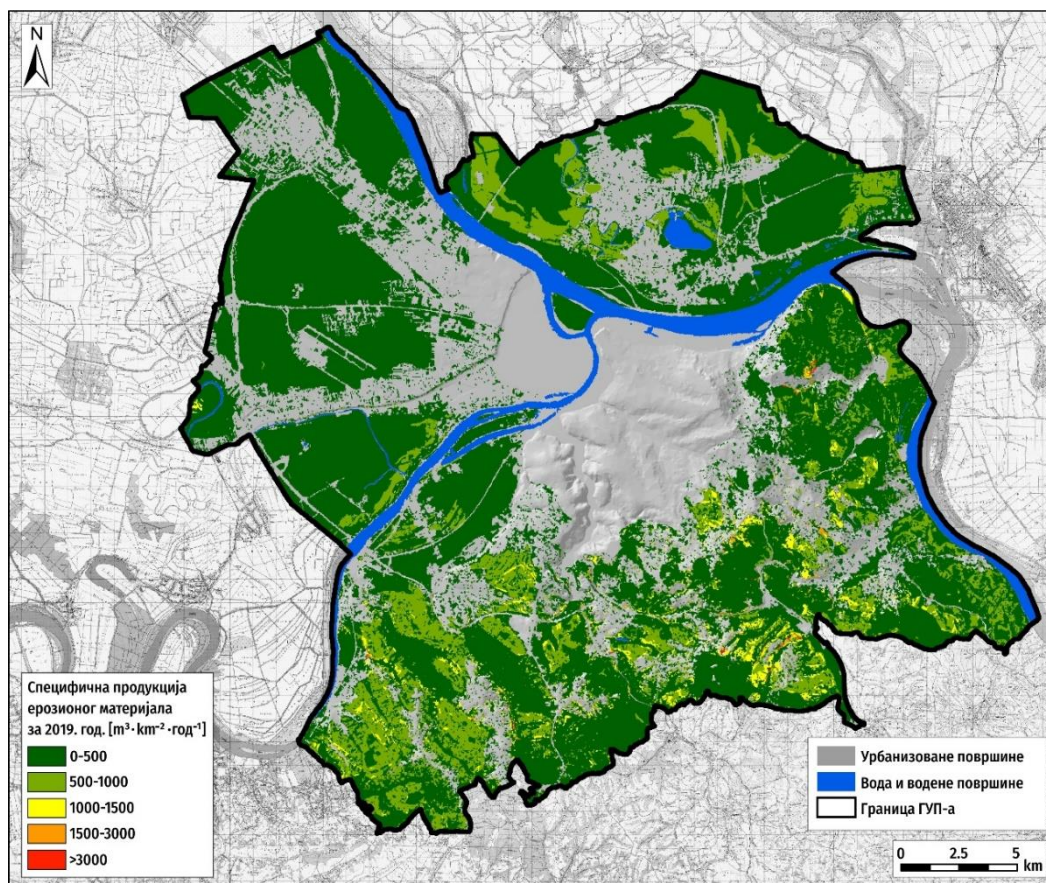
Слика 5.23. Просторни распоред коефицијента ерозије Z за 2019. годину

5.2.8. Процена губитака земљишта према Методи Потенцијала ерозије

Укупна продукција ерозионог материјала према методи проф. Гавриловића (методологија приказана у поглављу 3.2) прорачунава се на основу напред дефинисаних параметара (T , H_{god} , Z). Укупна продукција ерозионог материјала (W_{god}) израчуната је за оба временска пресека (2001. и 2019. годину). Поред тога, израчуната је и специфична продукција ерозионог материјала (W_{godsp}) на основу растера, где сваки пиксел „носи“ одређену вредност продукције ерозионог материјала ($m^3 \cdot km^{-2} \cdot god^{-1}$). Укупна продукција ерозионог материјала за истраживано подручје (за 2001. годину) износи $W_{god}=148.724,95 m^3 \cdot god^{-1}$, док је специфична продукција $W_{godsp}=282,5 m^3 \cdot km^{-2} \cdot god^{-1}$. Распон специфичне продукције износи $W_{godsp}=1,49-5.651,38 m^3 \cdot km^{-2} \cdot god^{-1}$ (Слика 5.24.). Површинска заступљеност просечне годишње ерозионе продукције W_{god} на подручју ГУП-а приказана је у табели 5.10. Укупна продукција ерозионог материјала за истраживано подручје (за 2019. годину) износи $W_{god}=138.938,78 m^3 \cdot god^{-1}$ док је специфична продукција $W_{godsp}=288,6 m^3 \cdot km^{-2} \cdot god^{-1}$. Распон специфичне продукције износи $W_{godsp}=1,75-6.332 m^3 \cdot km^{-2} \cdot god^{-1}$ (Слика 5.25.). У табели 5.11., приказана је површинска заступљеност појединих категорија ерозије. Анализом карата ерозије из 2001. и 2019. године, утврђено је повећање интензитета ерозионих процеса на површинама које су биле предмет анализе (без урбанизованих површина). Сходно томе, издваја се разлика вредности специфичне ерозионе продукције на анализираним површинама, за 2001. и 2019. годину, од $6,1 m^3 \cdot km^{-2} \cdot god^{-1}$.



Слика 5.24. Просторни распоред специфичне продукције ерозионог материјала за 2001. годину, применом МПЕ



Слика 5.25. Просторни распоред специфичне продукције ерозионог материјала за 2019. годину, применом МПЕ

Табела 5.10. Специфична ерозиона продукција на истраживаном подручју за 2001. годину применом МПЕ.

Категорија разорности	Јачина ерозионих процеса	Количина $m^3 \cdot km^{-2} \cdot god^{-1}$	km^2	%
I	Екседивна ерозија	>3.000	0,32	0,06
II	Јака ерозија	1.500-3.000	1,04	0,20
III	Средња ерозија	1.000-1.500	6,56	1,25
IV	Слаба ерозија	500-1000	84,60	16,07
V	Врло слаба ерозија	0-500	433,94	82,42
Укупно			526,46	100,00

Табела 5.11. Специфична ерозиона продукција на истраживаном подручју за 2019. годину применом МПЕ.

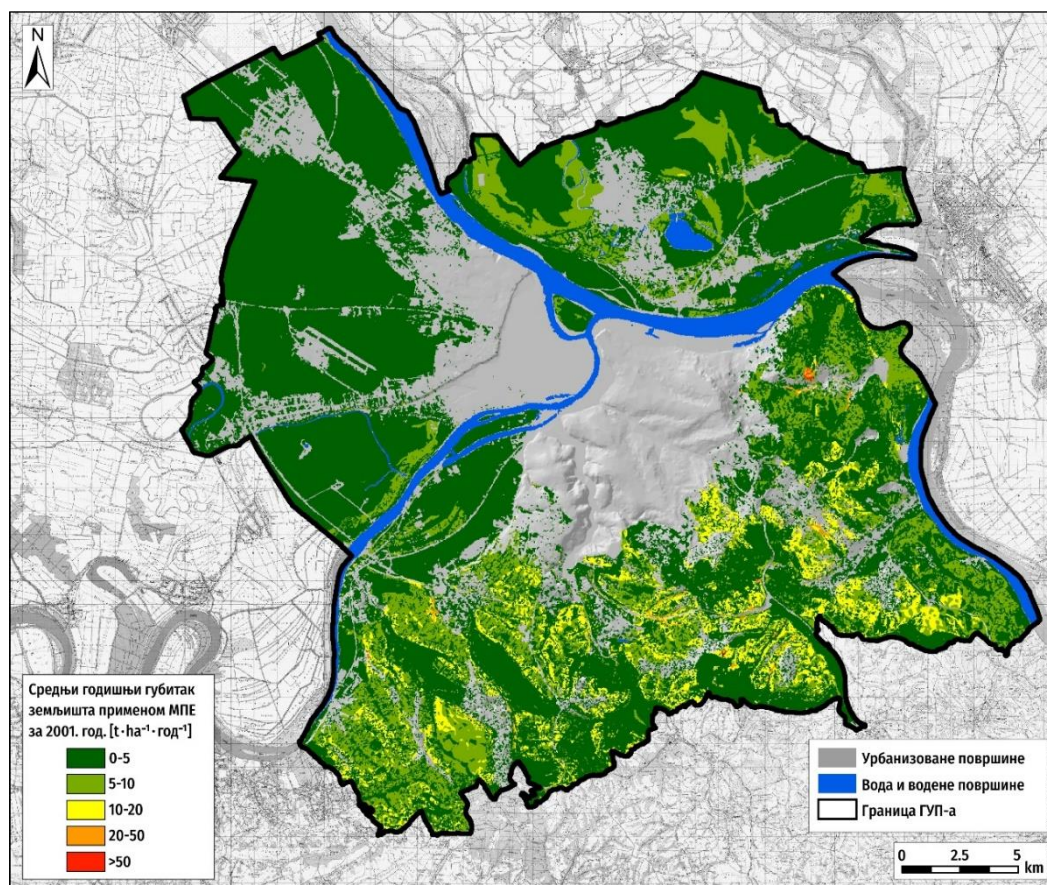
Категорија разорности	Јачина ерозионих процеса	Количина $m^3 \cdot km^{-2} \cdot god^{-1}$	km^2	%
I	Екседивна ерозија	>3.000	0,28	0,06
II	Јака ерозија	1.500-3.000	0,75	0,16
III	Средња ерозија	1.000-1.500	11,62	2,41
IV	Слаба ерозија	500-1.000	77,21	16,04
V	Врло слаба ерозија	0-500	391,53	81,33
Укупно			481,39	100,00

Губитак земљишта који се прорачунава према Методи Потенцијала ерозије се изражава у $m^3 \cdot km^{-2} \cdot god^{-1}$, док се губитак земљишта применом модела RUSLE и G2 изражава у $t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$. Како би добијени резултати могли да се упореде, извршена је конверзија јединица на основу усвојене запреминске масе земљишта која износи $1,3 g \cdot cm^{-3}$. Конверзија је обављена

коришћењем резултата на основу примене Методе Потенцијала ерозије. У табелама 5.12. и 5.13. приказана је површинска заступљеност појединих типова ерозионих процеса, а губици земљишта исказани у $t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$, док је просторна расподела приказана на сликама 5.26. и 5.27. Губици земљишта у првом временском пресеку (2001. година) се налазе у распону од $0,019 t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$ до $73,47 t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$, са просечном вредношћу од $3,67 t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$. Губици земљишта у другом временском пресеку (2019. година) се налазе у распону од $0,022$ до $82,32 t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$, са просечном вредношћу $3,75 t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$. На сликама 5.26. и 5.27. приказана је просторна расподела губитака земљишта за 2001. и 2019. годину. Сходно изнетом утврђен је пораст губитака земљишта од 2,18% за период 2001-2019. године, на основу примене МПЕ.

Табела 5.12. Губитак земљишта на истраживаном подручју за 2001. годину применом МПЕ

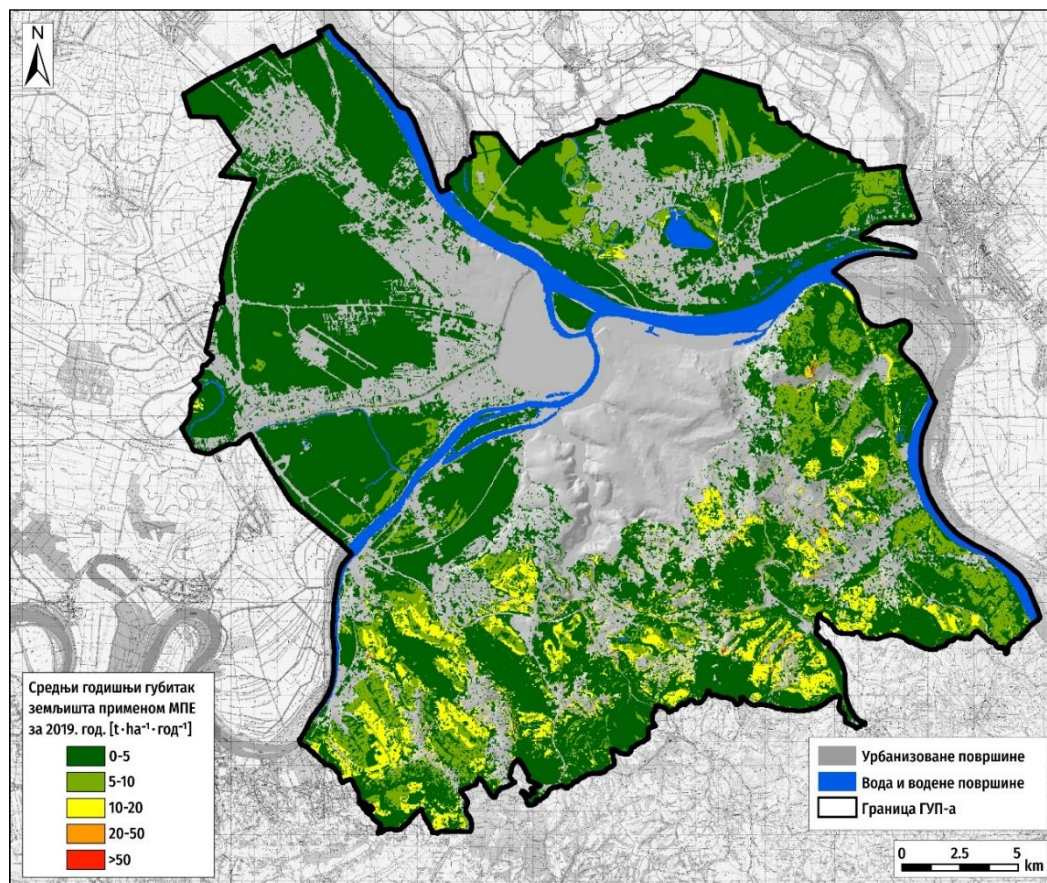
Категорија разорности	Јачина ерозионих процеса	Количина $t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$	km ²	%
I	Експесивна ерозија	>50	0,13	0,02
II	Јака ерозија	20-50	1,12	0,21
III	Средња ерозија	10-20	26,71	5,07
IV	Слаба ерозија	5-10	91,74	17,43
V	Врло слаба ерозија	0-5	406,77	77,26
Укупно			526,46	100,00



Слика 5.26. Просторни распоред губитака земљишта применом МПЕ за 2001. годину

Табела 5.13. Губитак земљишта на истраживаном подручју за 2019. годину применом МПЕ

Категорија разорности	Јачина ерозионих процеса	Количина $t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$	km ²	%
I	Експесивна ерозија	>50	0,15	0,03
II	Јака ерозија	20-50	0,71	0,15
III	Средња ерозија	10-20	35,06	7,28
IV	Слаба ерозија	5-10	66,31	13,77
V	Врло слаба ерозија	0-5	379,16	78,76
Укупно			481,39	100,00



Слика 5.27. Просторни распоред губитака земљишта применом МПЕ за 2019. годину

5.3. Примена RUSLE модела за референтни период

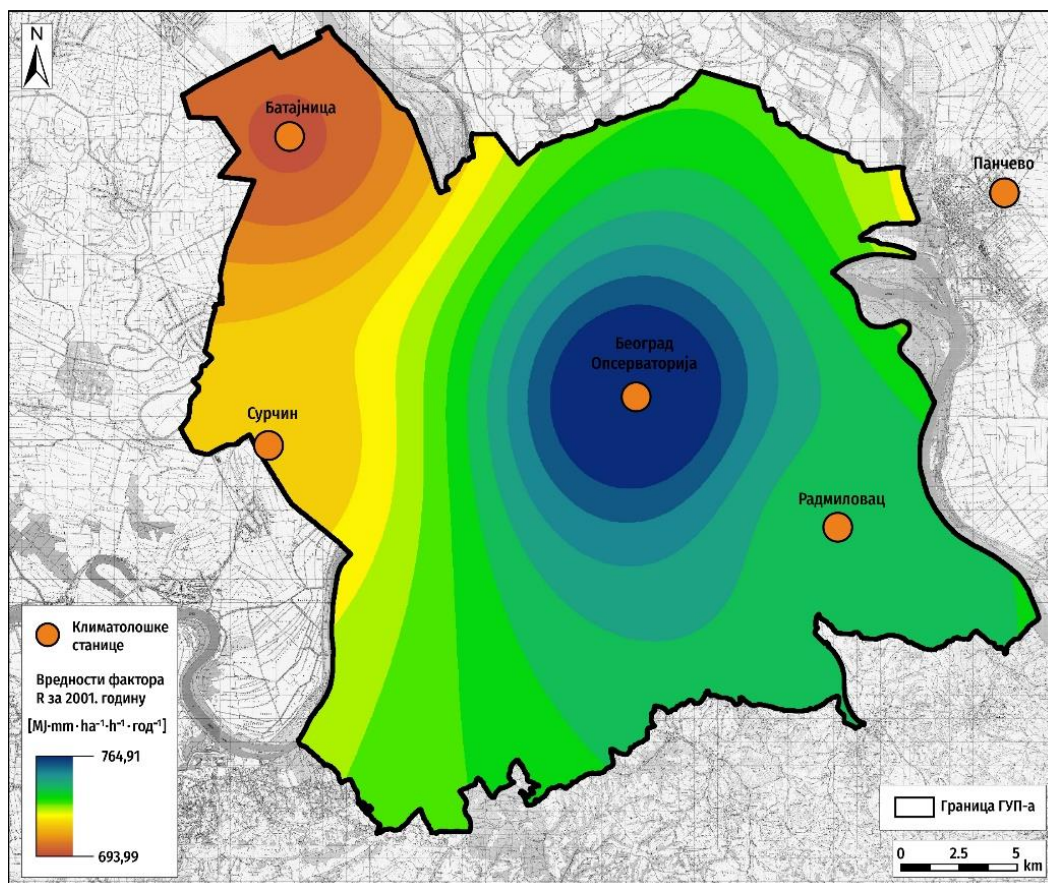
Према примењеној методологији која је описана у поглављу 3.3, добијени су, анализирани и приказани резултати за оба временска пресека (2001. и 2019. година), применом модела RUSLE.

5.3.1. Фактор ерозионе снаге кише (R)

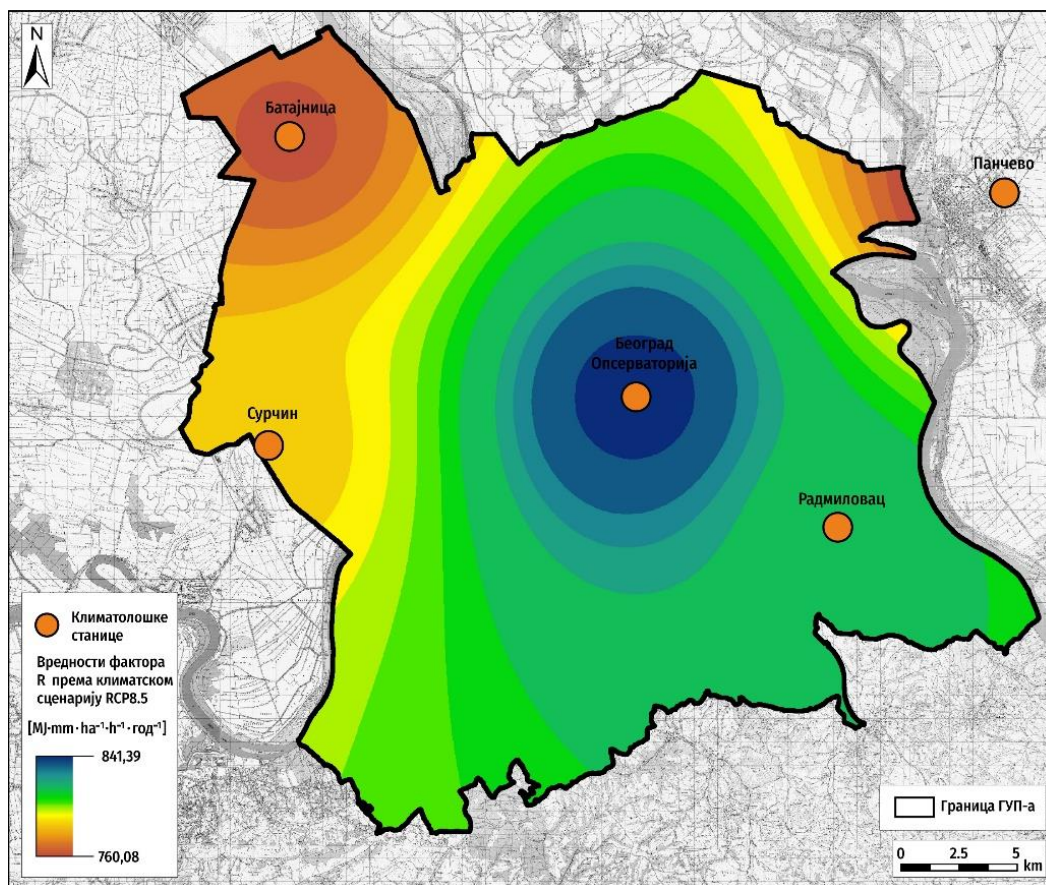
Фактор ерозионе снаге кише се изражава кроз количину и интензитет падавина. Због непостојања адекватних резултата мерења тридесетоминутних падавина на расположивим станицама, за прорачун су коришћене средње годишње количине падавина за период осматрања од 1971. до 2001. године. Према описаној методологији и интерполацијским методама у ГИС окружењу, на слици 5.28. приказан је просторни распоред фактора ерозионе снаге кише (R) за први временски пресек (2001. година). Просторни распоред фактора R је приказан у растерској форми, са просторном резолуцијом од 30 метара. Просечна вредност фактора R износи $731,19 MJ \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1} \cdot god^{-1}$, са најнижом вредношћу од $693,99 MJ \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1}$

$^1 \cdot \text{god}^{-1}$ у северозападном делу ГУП-а, док је максимална вредност од $764,907 \text{ MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{god}^{-1}$ забележена у средишњем делу подручја ГУП-а (Слика 5.29.).

Симулацијом климатских параметара према климатском сценарију RCP8.5 за средину века (2046-2065), и коришћењем расположивих средњегодишњих падавина, израчунато је ерозионо дејство кише за други временски пресек (2019. година). Вредности ерозионе снаге кише биће увећане за 5%-10%, до средине XXI века. Вредности ерозионе снаге кише крећу се у распону од $R=760,084\text{-}841,398 \text{ MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{god}^{-1}$, са просечном вредношћу од $R=801,43 \text{ MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{god}^{-1}$.



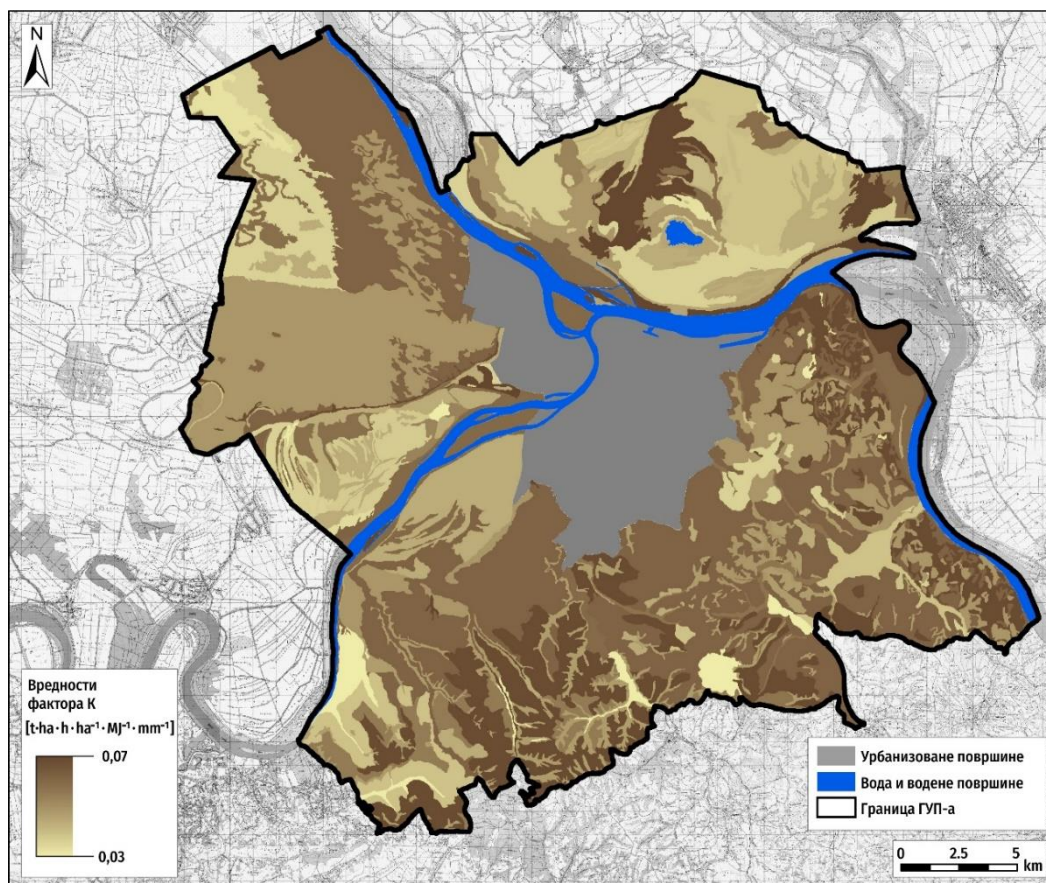
Слика 5.28. Просторни распоред фактора ерозионе снаге кише (R) за 2001. годину



Слика 5.29. Просторни распоред фактора ерозионе снаге кише (R) према климатском сценарију RCP8.5 за средину века (2046-2065 године)

5.3.2. Фактор еродибилности земљишта (K)

При процесу моделирања ерозије земљишта на већим просторним и временским размерама, један од примарних недостатака су релевантни подаци о физичко-хемијским карактеристикама земљишта. Један од најважнијих показатеља при процесу моделирања ерозије земљишта јесте фактор еродибилности земљишта (K), који се користи у моделу (R)USLE и сличним моделима из група емпиријских, концептуалних или физичких заснованих модела. Отпорност земљишта на ерозију је у корелацији са карактеристикама земљишта, као што су садржај органске материје, текстурни састав, структура и водопропустљивост. За потребе ове дисертације коришћена је дигитализована педолошка карта, док су релевантни подаци о карактеристикама земљишта, преузети на основу литературних извора (Pavićević i sar., 1975; Pavićević i sar., 1976; Antonović i sar., 1978), као и на основу анализа узорака земљишта коришћених у пројектима Шумарског факултета Универзитета у Београду (Ристић и сар., 2011; Ристић и сар., 2012; Ристић и сар., 2013; Ристић и сар., 2014а; Ристић и сар., 2014б; Ристић и сар., 2014в; Ристић и сар., 2019). Карактеристике земљишта су изражене у форми атрибута додељених дигитализованој педолошкој карти. Поступком интерполације фактор еродибилности земљишта K је дистрибуиран на простору целог истраживаног подручја. Просечна вредност фактора износи $K=0,041 \text{ t}\cdot\text{ha}\cdot\text{h}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{MJ}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$, што је одлика високо еродибилних земљишта (Wischmeir et al., 1971). Распон вредности креће се од $K=0,033-0,07 \text{ t}\cdot\text{ha}\cdot\text{h}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{MJ}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$ (без водених и урбанизованих површина) (Слика 5.30.). Добијене вредности фактора K коришћене су за оба временска пресека.



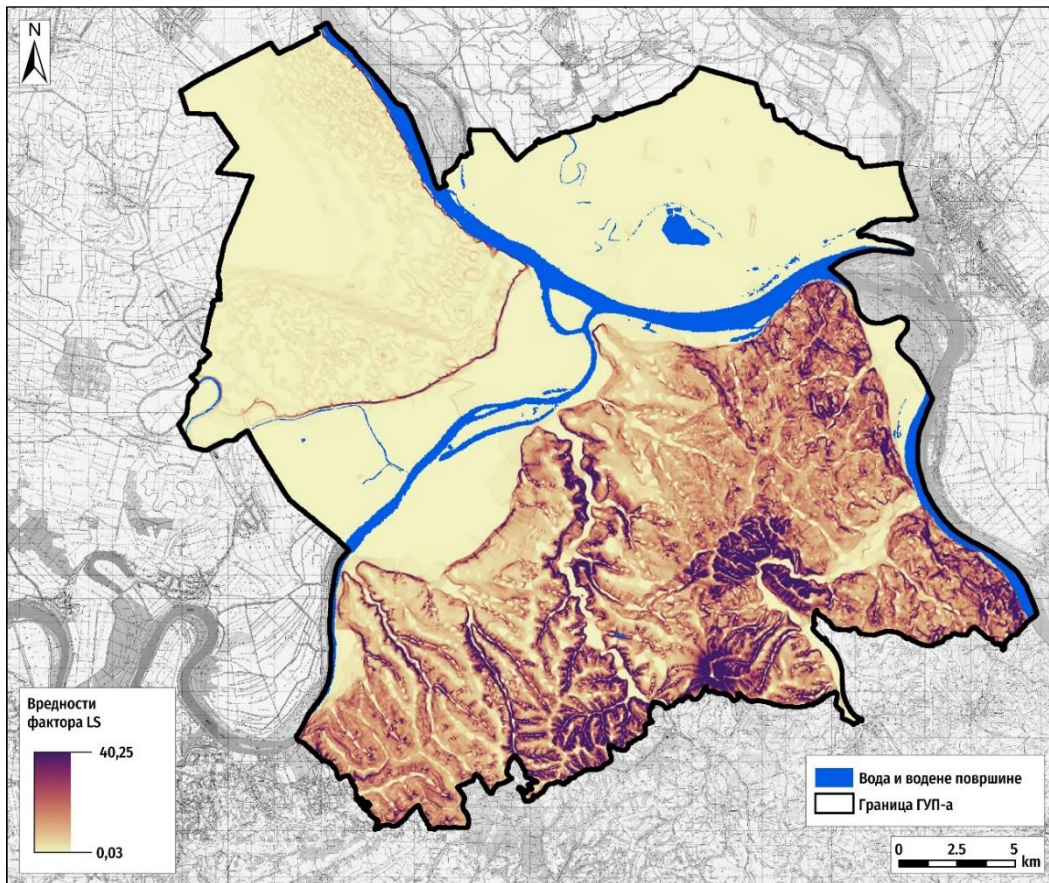
Слика 5.30. Просторни распоред фактора еродибилности земљишта (K)

5.3.3. Топографски фактор (LS)

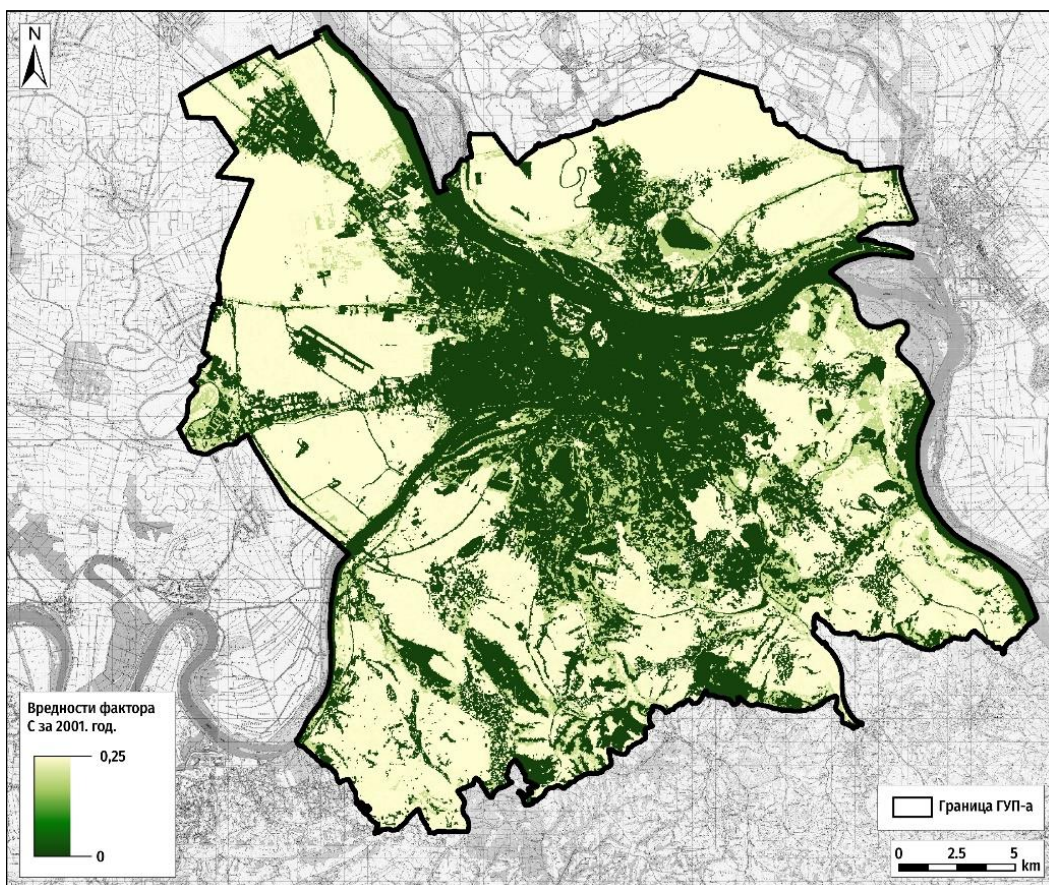
Топографски фактор LS представља комбиновани фактор који изражава симултани утицај дужине и нагиба падине на настанак ерозионих процеса. Вредности фактора LS добијене су на основу обраде дигиталног модела површи, са просторном резолуцијом од 30 m и према описаном алгоритму (приказан у потпоглављу 3.3.3.) (Desmet, Glovers, 1996). Фактор LS има веома битну улогу у процесу моделирања ерозије земљишта, где је излазни резултат у форми растерске базе података, са бездимензионалним вредностима. Добијене вредности топографског фактора се крећу у распону од $LS=0,03-40,25$, са просечном вредношћу $LS=0,98$ (Слика 5.31). Већа вредности топографског фактора LS указује на повишен потенцијал површине за настанак и развој ерозионих процеса. Добијена растерска база топографског фактора LS коришћена је за анализу у оба временска пресека.

5.3.4. Фактор начина коришћења земљишта (C)

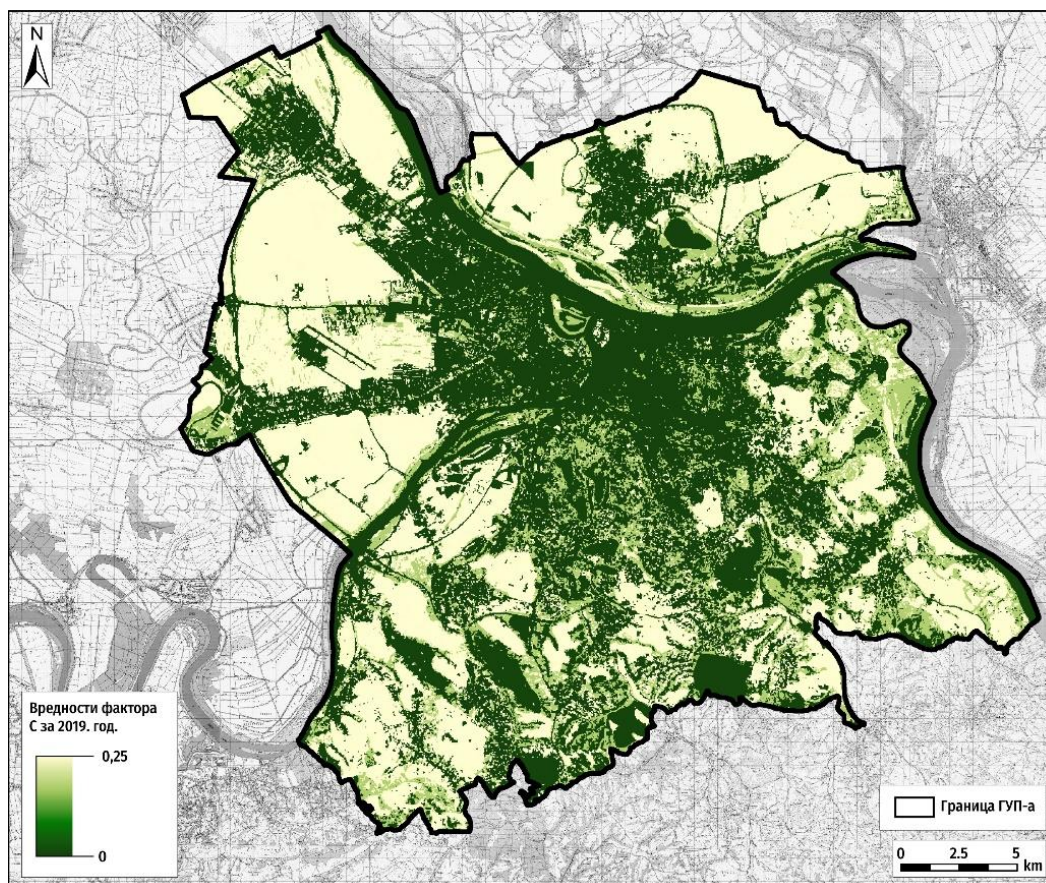
Топографски фактор LS и фактор начина коришћења земљишта C имају значајан утицај приликом моделирања процеса ерозије земљишта, тако да је веома важно да буду представљени веродостојним вредностима. Вредности фактора C су представљене у форми атрибутра на одговарајућим картама земљишног покривача, које су генерисане на основу података добијених методом даљинске детекције као и метода надзиране класификације. Вредности фактора C, за оба временска пресека, се налазе у распону од $C=0-0,25$, са просечном вредношћу од $C=0,11$ (за 2001. годину) (Слика 5.32) и просечном вредношћу $C=0,096$ (за 2019. годину) (Слика 5.33).



Слика 5.31. Просторни распоред топографског фактора LS



Слика 5.32. Просторни распоред фактора начина коришћења земљишта С за 2001. годину



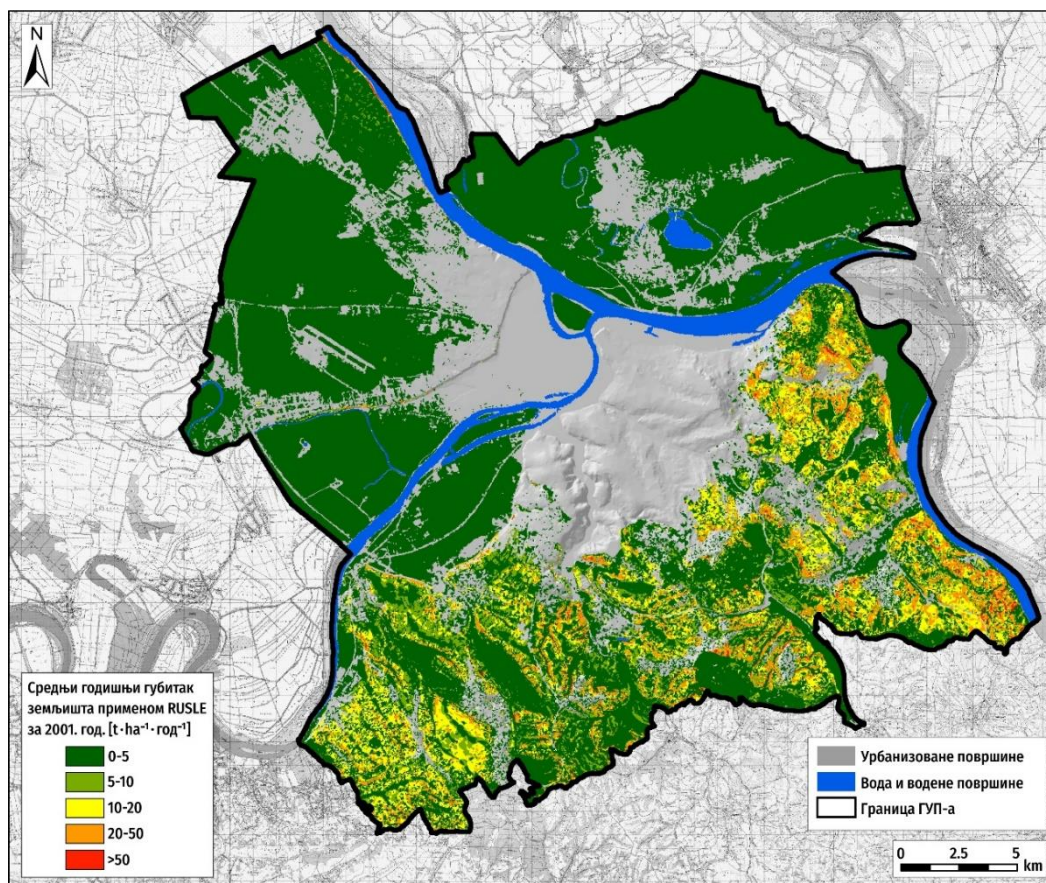
Слика 5.33. Просторни распоред фактора начина коришћења земљишта С за 2019. годину

5.3.5. Процена губитака земљишта према моделу RUSLE

Према дефинисаним улазним параметрима (R, K, LS, C) израчуната је продукција ерозионог материјала применом модела RUSLE. Годишњи губитак земљишта услед ерозије приказан је у форми растерске базе просторне резолуције од 30 m, где сваки пиксел представља потенцијални губитак земљишта по јединици површине ($t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$). Просечни годишњи губитак земљишта за први временски пресек (2001. година) $A=4,44 t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$, указује на врло слабу ерозију. На слици 5.34., приказан је просторни распоред губитака земљишта на подручју ГУП-а, са распоном вредности $A=0-274,61 t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$, за 2001. годину, чија је површинска заступљеност приказана у табели 5.14. Процена губитака земљишта за оба временска пресека анализирана ја само на подручјима која су подложна деловању интензивних ерозионих процеса.

Табела 5.14. Губитак земљишта на истраживаном подручју за 2001. годину применом модела RUSLE

Категорија разорности	Јачина ерозионих процеса	Количина $t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$	km ²	%
I	Експесивна ерозија	>50	2,60	0,49
II	Јака ерозија	20-50	30,49	5,79
III	Средња ерозија	10-20	46,14	8,76
IV	Слаба ерозија	5-10	41,20	7,83
V	Врло слаба ерозија	0-5	406,03	77,12
Укупно			526,46	100,00

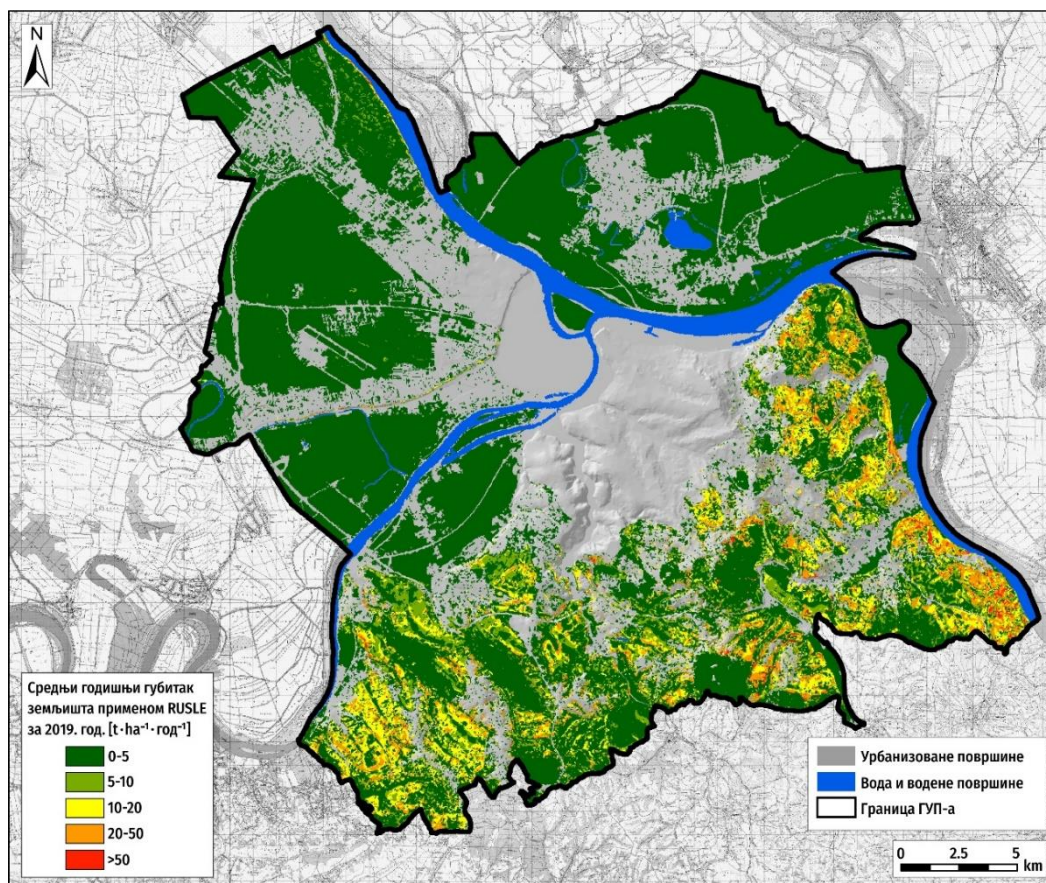


Слика 5.34. Просторни распоред губитака земљишта применом модела RUSLE за 2001. годину

Применом симулираних климатских услова, према сценарију RCP8.5., као и на основу добијених резултата класификације земљишног покривача за 2019. годину, прорачунат је потенцијални губитак земљишта на основу модела RUSLE. Просечан губитак земљишта на истраживаном подручју износи $A=4,38 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{god}^{-1}$, са распоном вредности $A=0-311 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{god}^{-1}$ (Слика 5.35), што указује на категорију врло слабе ерозије са повећаним интензитетом у односу на 2001. годину. Површинска заступљеност појединих категорија ерозије приказана је у табели 5.15. Поређењем временских пресека 2001. и 2019. године утврђено је просечно смањење губитака земљишта за 1,35% применом модела RUSLE.

Табела 5.15. Губитак земљишта на истраживаном подручју за 2019. годину применом модела RUSLE

Категорија разорности	Јачина ерозионих процеса	Количина $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{god}^{-1}$	km^2	%
I	Експесивна ерозија	>50	5,50	1,14
II	Јака ерозија	20-50	22,20	4,61
III	Средња ерозија	10-20	38,78	8,06
IV	Слаба ерозија	5-10	40,18	8,35
V	Врло слаба ерозија	0-5	374,72	77,84
Укупно			481,39	100,00



Слика 5.35. Просторни распоред губитака земљишта применом модела RUSLE за 2019. годину

5.4. Примена G2 модела за референтни период

Применом описане методологије и коришћењем релевантних фактора (поглавље 3.4 и 4.), добијени су, анализирани и представљени резултати за два временска пресека (2001. и 2019. година).

5.4.1. Фактор ерозионе снаге кише (R)

Фактор ерозионе снаге кише (R) је израчунат по истој методологији која је примењена за RUSLE модел (поглавље 5.3.1.), за оба временска пресека.

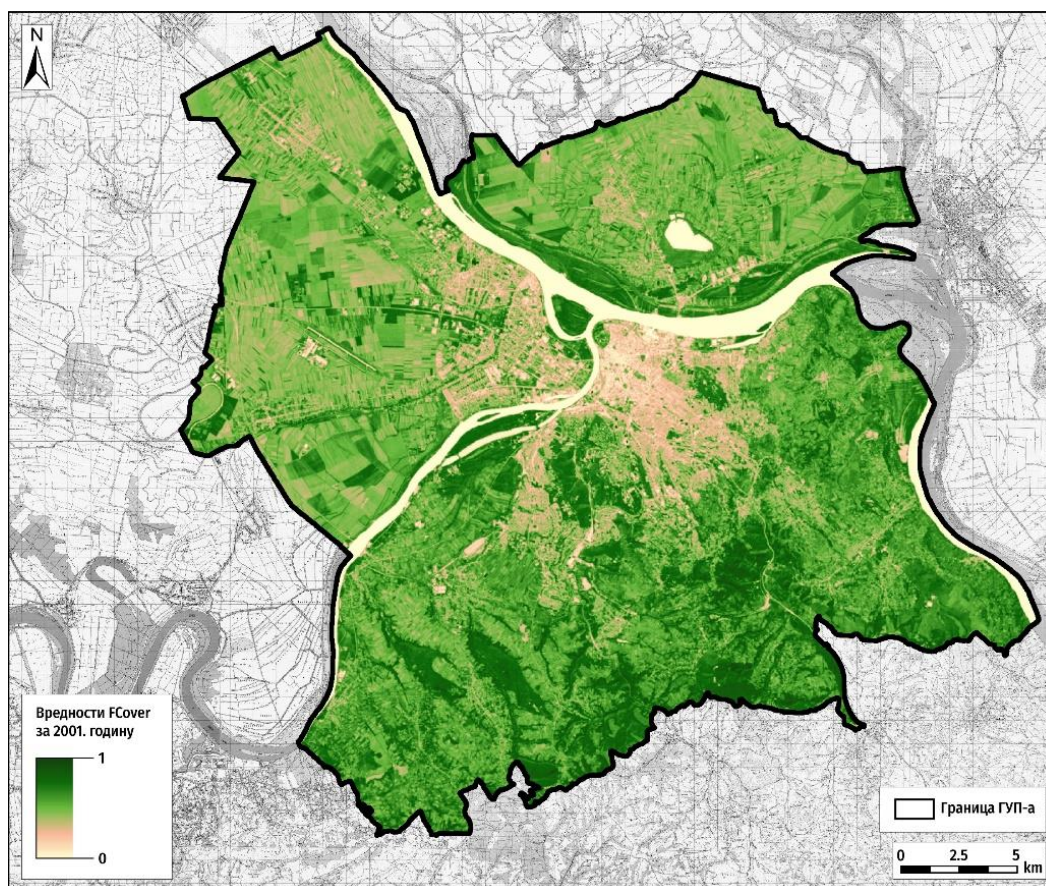
5.4.2. Вегетациони фактор ретенције (V)

Вегетациони фактор ретенције један је од најкомплекснијих фактора за прорачун у моделу G2. Вредност фактора (V) добија се на основу два параметара: фракционог вегетационог покривач (FCover) и начина коришћења земљишта (LU). Вредност FCover се може израчунати на основу података прикупљених методом даљинске детекције, односно на основу информација садржаних у сателитским снимцима, различите просторне и временске резолуције. За оба временска пресека (2001. и 2019. годину) коришћен је комплет од 12 сателитских снимака, односно за сваки месец је коришћен по један снимак како би се добиле просечне годишње вредности. У анализи су коришћени сателитски снимци за вегетациони и ванвегетациони период. За сваки месец биран је сателитски снимак са најмањим степеном облачности, тако да су за 2001. годину коришћени сателитски снимци Landsat мисије 5 и 7, док су за 2019. годину коришћени сателитски снимци Landsat мисије 8. Вредности FCover представљају удео вегетације унутар једног пиксела са распоном вредности од 0 до 1. За анализирани први

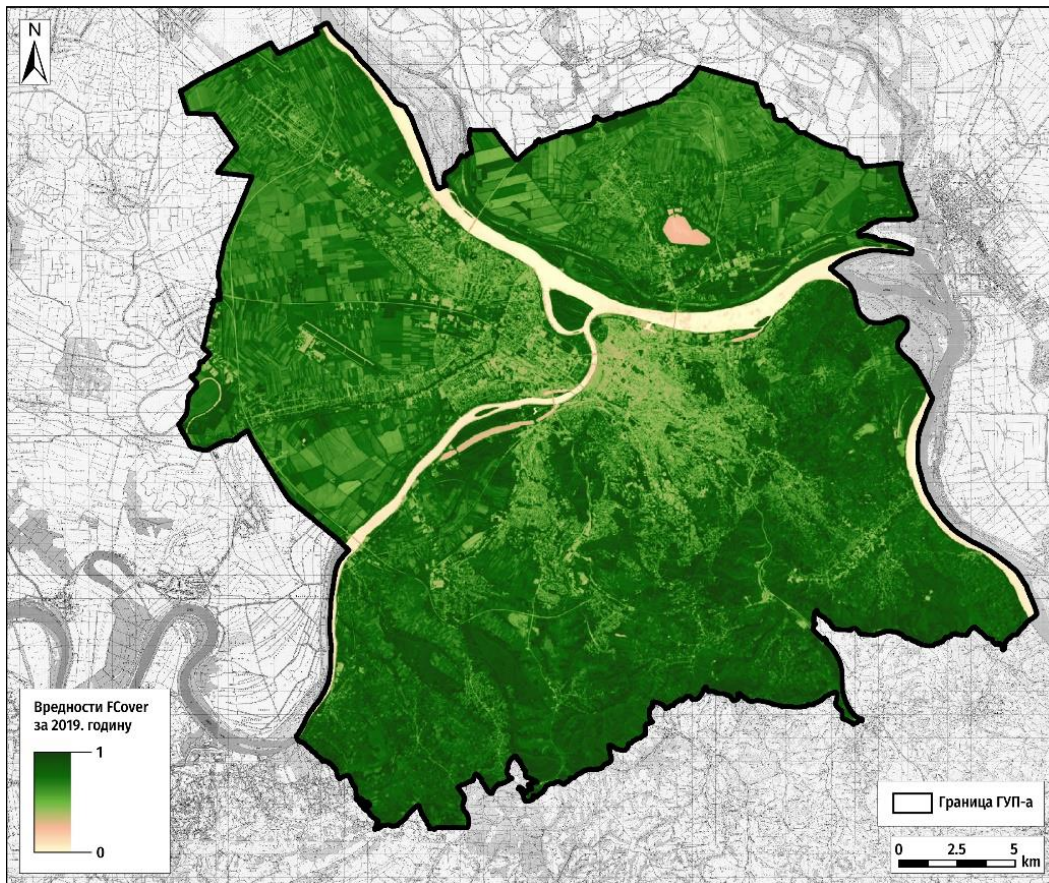
временски пресек (2001. год), просечна вредност за цело истраживано подручје је 0,558 (Слика 5.36), док је за други временски пресек (2019. год) просечна вредност 0,569 (Слика 5.37).

Други емпиријски параметар представља начин коришћења земљишта (LU) који има распон вредности од 1 до 10, а приказује се у форми атрибута на релевантној карти земљишног покривача. Распон вредности за оба временска пресека креће се у распону од 3 до 10, са просечном вредношћу од 5,02 за 2001. годину (Слика 5.38.) и просечном вредношћу од 5,33 за 2019. годину (Слика 5.39.).

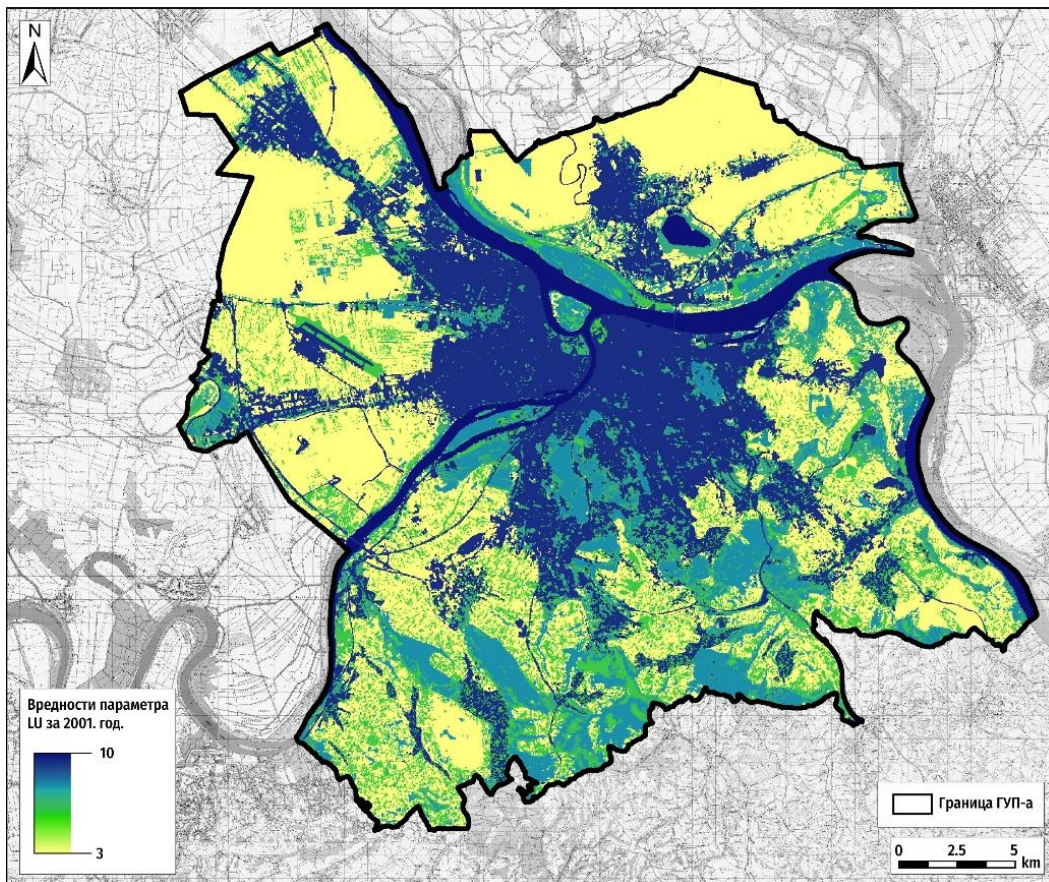
Након обраде података, добијених вредности FCover и LU, уз примену одговарајуће формуле израчунат је фактор вегетационе ретенције (V), за оба временска пресека. Вредности фактора V су бездимензионалне са распонем вредности од 1 до $+\infty$. Вредност коефицијента V за 2001. годину, се налази у распону од $V=1-3.079,34$, са просечном вредношћу од $V=32,83$ (Слика 5.40.). Добијене вредности за 2019. годину имају распон од $V=1-3.547,43$ са просечном вредношћу од $V=39,76$ (Слика 5.41.).



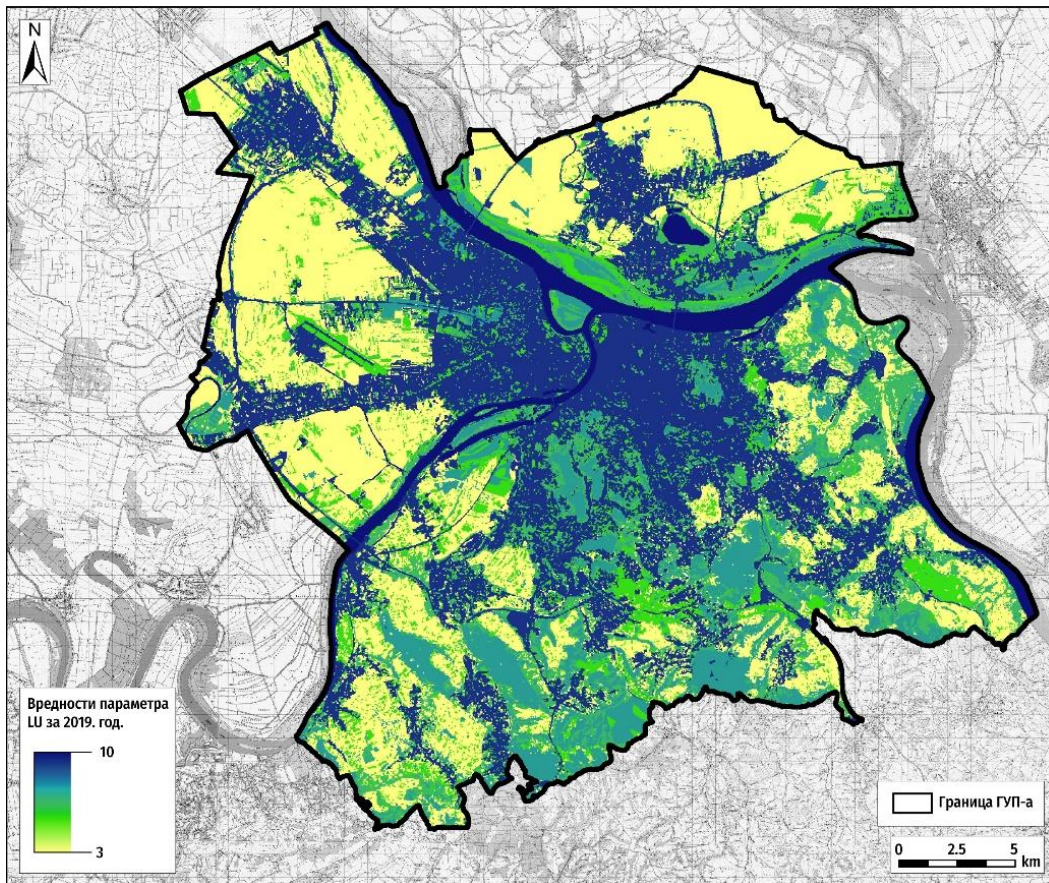
Слика 5.36. Просторни распоред FCover за 2001. годину



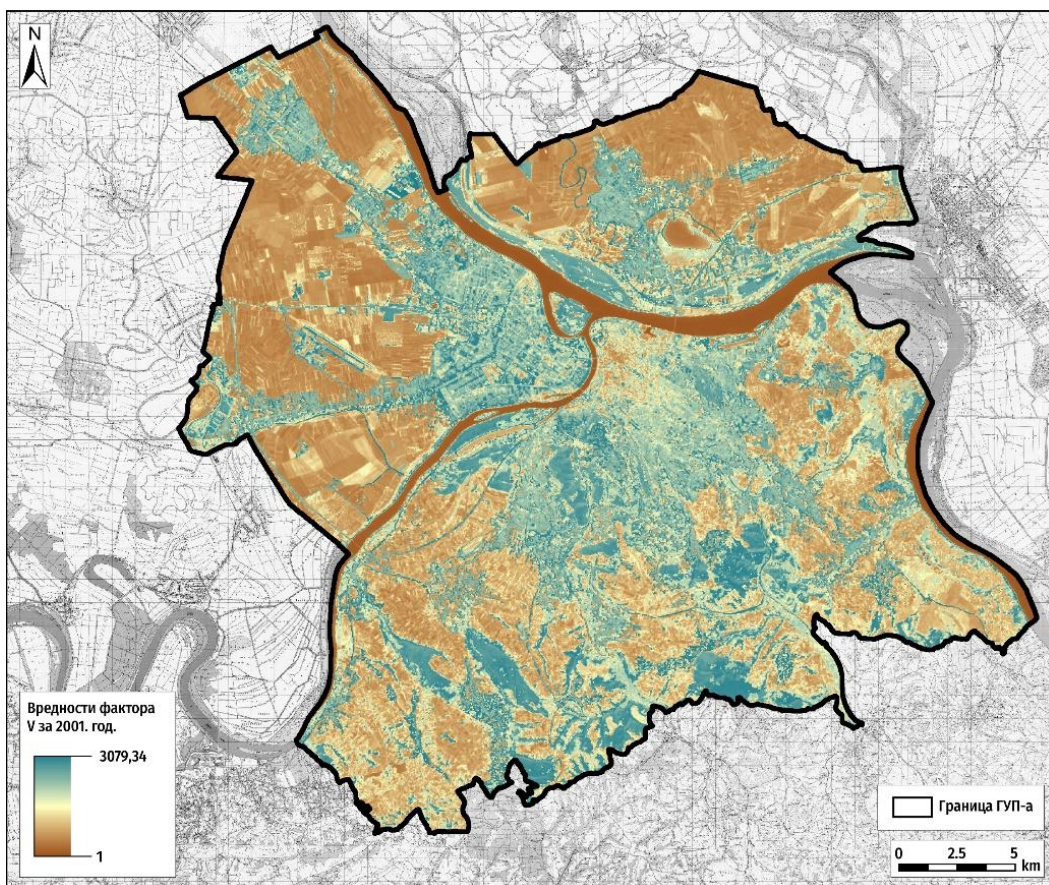
Слика 5.37. Просторни распоред FCover за 2019. годину



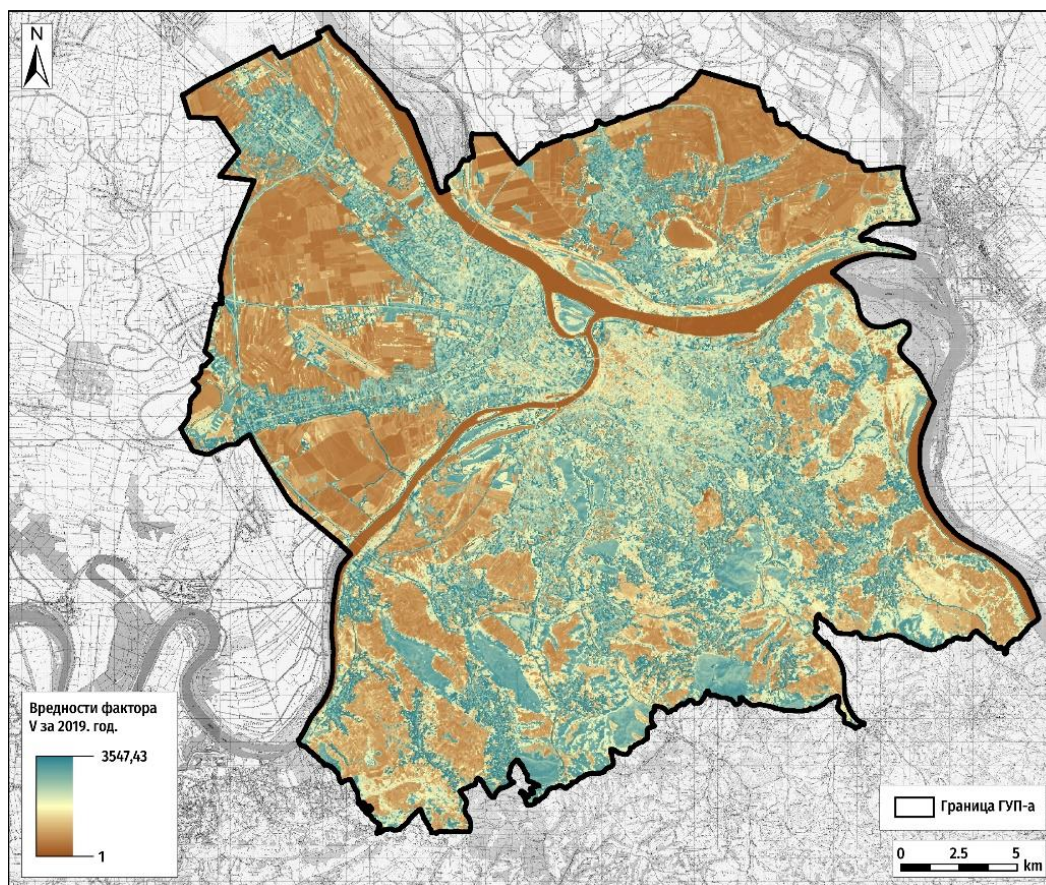
Слика 5.38. Просторни распоред параметра LU за 2001. годину



Слика 5.39. Просторни распоред параметра LU за 2019. годину



Слика 5.40. Просторни распоред фактора V за 2001. годину



Слика 5.41. Просторни распоред фактора V за 2019. годину

5.4.3. Фактор еродибилности земљишта (S)

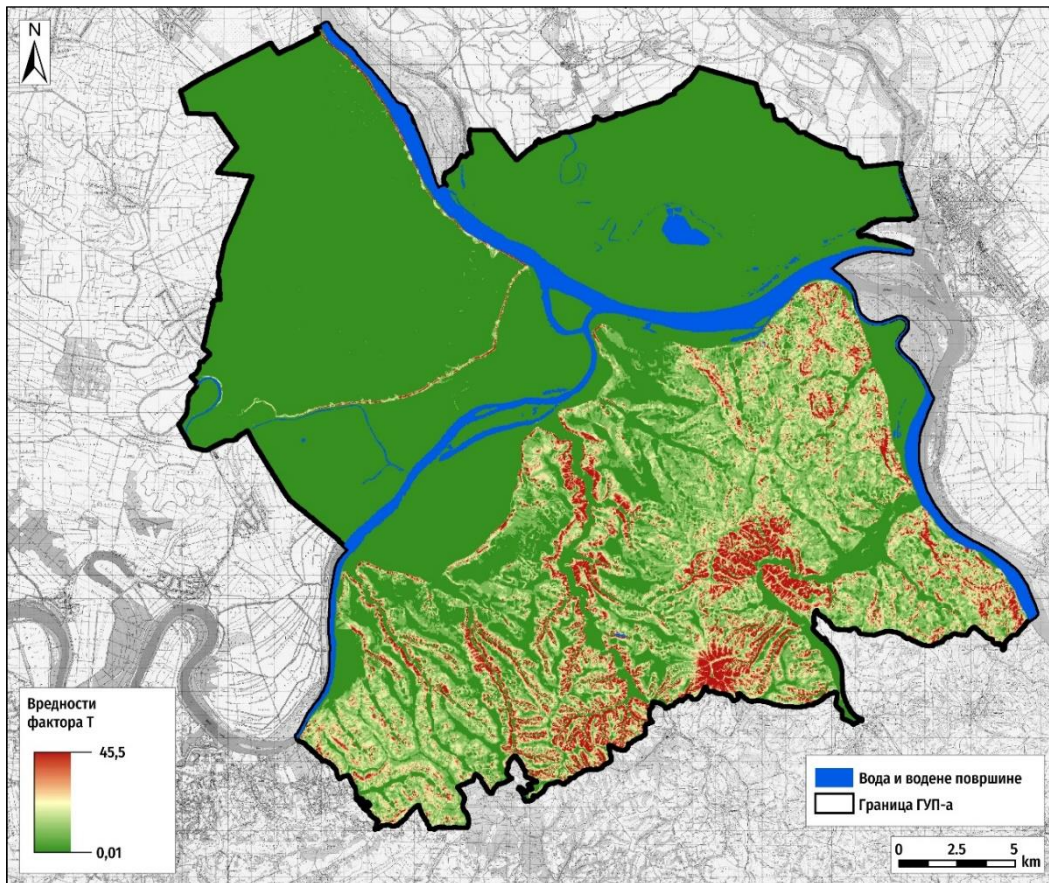
Фактор еродибилности земљишта S израчунат је према методологији која је примењена у моделу RUSLE (поглавље 5.3.2), док је просторна расподела приказана на слици 5.30.

5.4.4. Фактор топографског утицаја (Т)

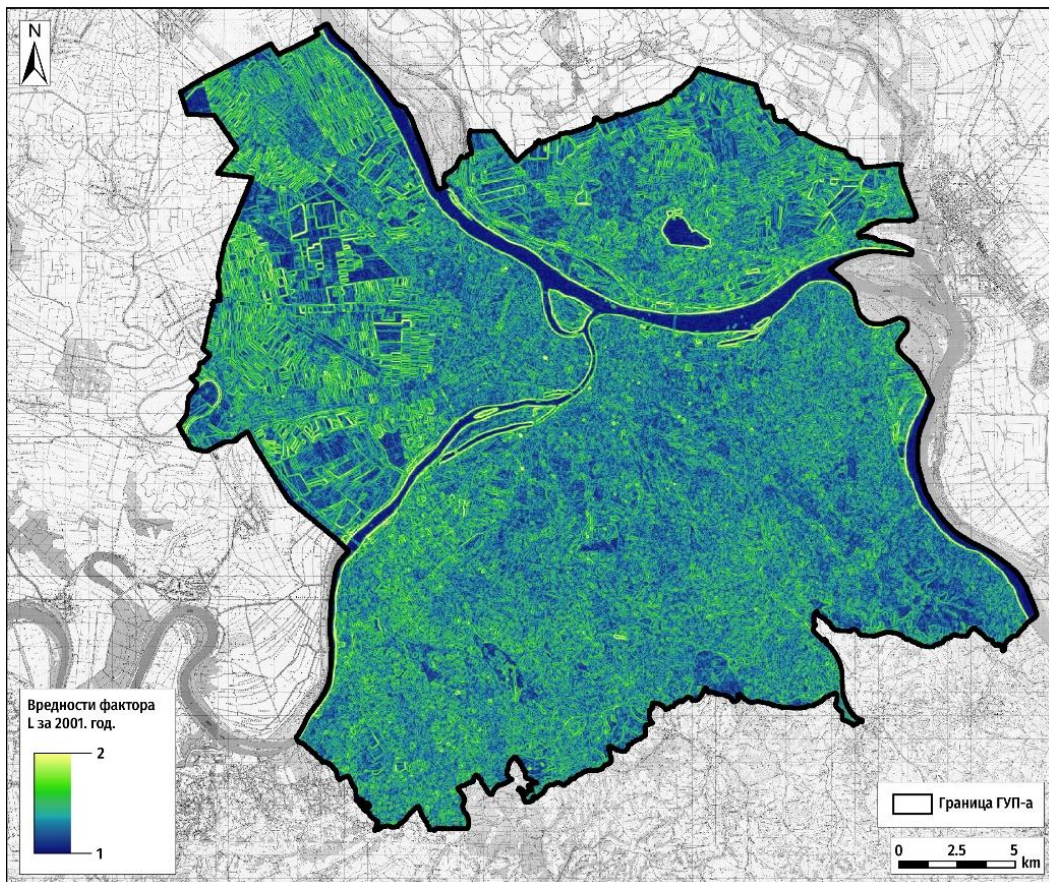
Фактор топографског утицаја T одговара топографском фактор LS у моделу RUSLE. За потребе ове дисертације и примену модела $G2$, коришћена је једначина Moore и Burch (1986a), на дигиталном моделу површи просторне резолуције од 30 метара. Добијени фактор T коришћен је за оба временска пресека са просторном расподелом приказаном на слици 5.42. Распон вредности топографског утицаја креће се $T=0,01-45,5$, са просечном вредности $T=1,34$.

5.4.5. Фактор ефекта предеоног обрасца (L)

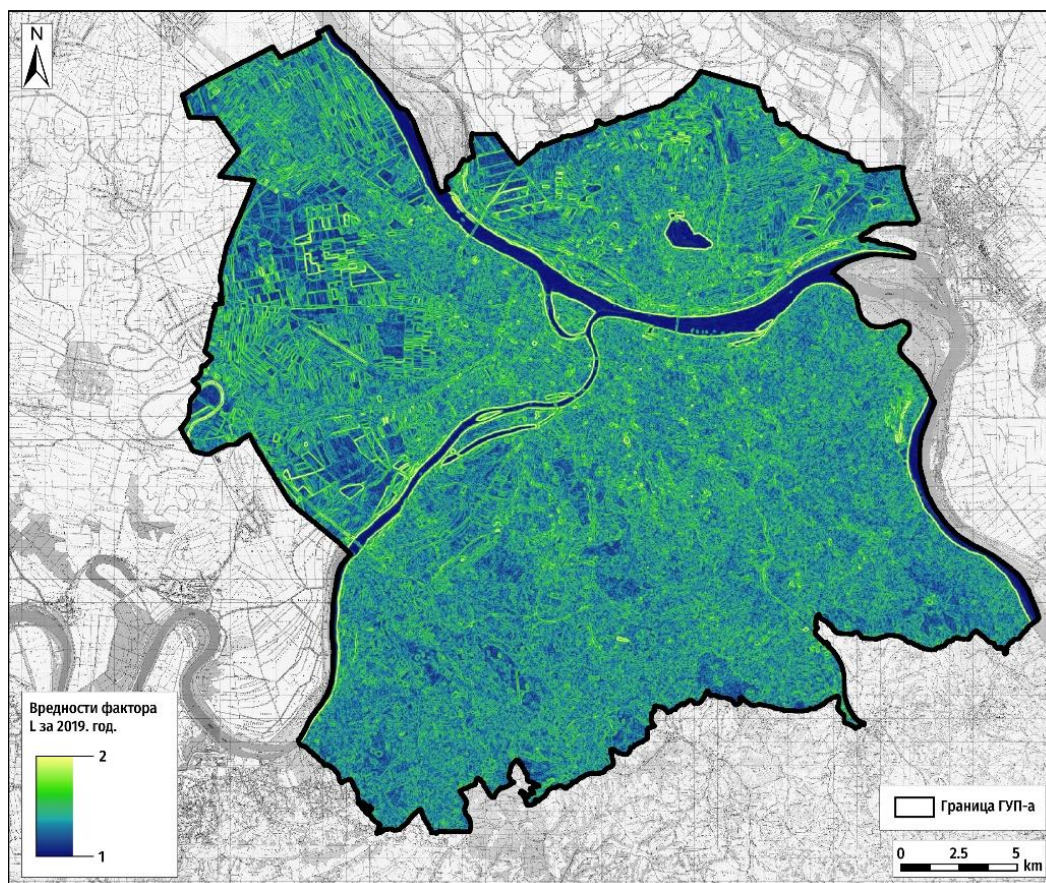
Фактор ефекта предеоног обрасца представља корекциони елемент у смањењу вредности фактора топографског утицаја T на настанак ерозионих процеса. Фактор ефекта предеоног обрасца (L) у моделу $G2$ замењује фактор конзервационих радова (P) у моделу RUSLE, као и коефицијент ретенције (Ru) у Методи Потенцијала ерозије. Према описаној формули, вредности фактора L имају распон вредности од 1 до 2, а добијене су применом даљинске детекције на спектралном каналу из блиског инфрацрвеног дела спектра. Фактор L помаже у идентификацији предеоних елемената који утичу на смањење дужине нагиба, а тиме и потенцијала за генезу површинског утицаја и појаву интензивних ерозионих процеса. Просечна вредности фактора L за 2001. годину износи $L=1,22$ (Слика 5.43.), док је за 2019. годину просечна вредност $L=1,29$ (Слика 5.44.).



Слика 5.42. Просторни распоред фактора топографског утицаја T



Слика 5.43. Просторни распоред фактора ефекта предеоног обрасца L за 2001. годину



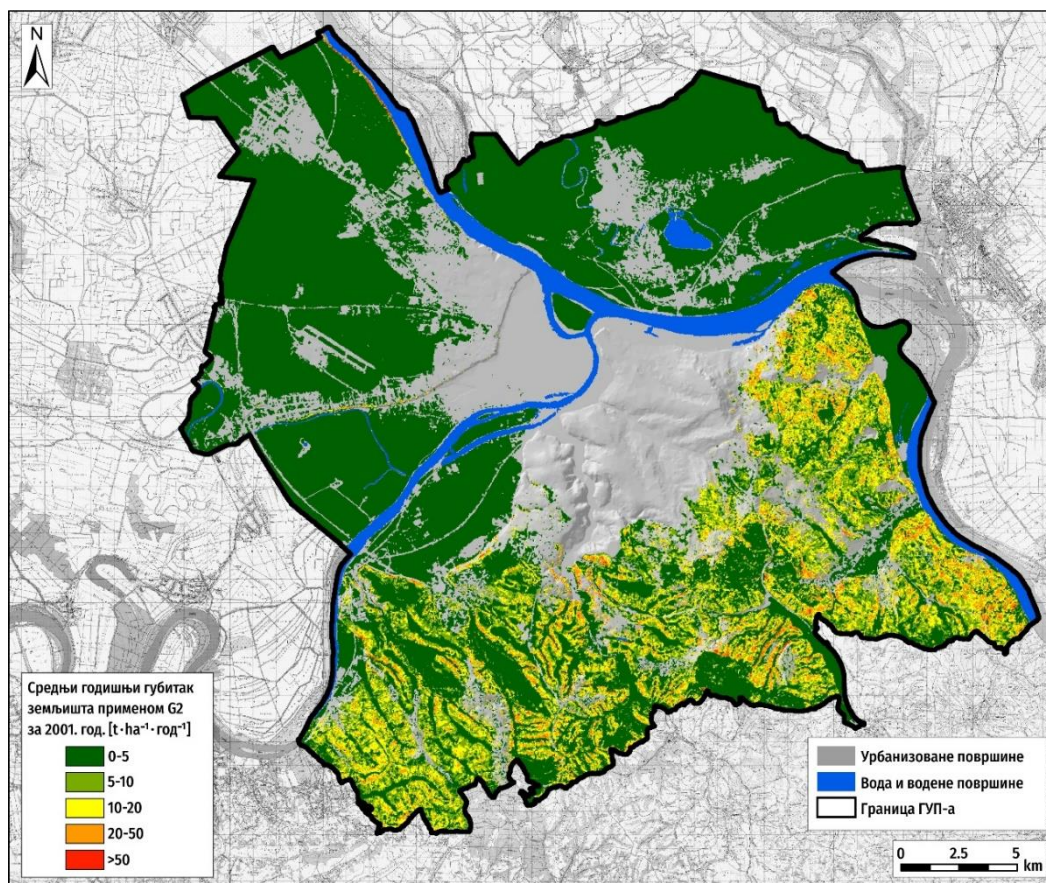
Слика 5.44. Просторни распоред фактора ефекта предеоног обрасца L за 2019. годину

5.4.6. Процена губитака земљишта према моделу G2

Дефинисани параметри (R, V, S, T, L) представљају полазну основу за прорачун губитка земљишта према моделу G2. Потенцијални губици земљишта, за оба временска пресека (2001. и 2019. година), приказани су у виду растерске базе података са просторном резолуцијом од 30 m. Растерска база података показује губитак земљишта по пикселу ($t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$). На слици 5.45. приказан је просторни распоред губитака земљишта за 2001. годину са просечном вредношћу $E=4,11 t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$, и распоном вредности од $E=0-200,86 t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$ што указује на категорију врло слабе ерозије. Просторна заступљеност појединих категорија разорности је представљена у табели 5.16.

Табела 5.16. Губитак земљишта на истраживаном подручју за 2001. годину применом модела G2

Категорија разорности	Јачина ерозионих процеса	Количина $t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$	km ²	%
I	Екседивна ерозија	>50	1,37	0,26
II	Јака ерозија	20-50	23,44	4,45
III	Средња ерозија	10-20	57,92	11,00
IV	Слаба ерозија	5-10	63,86	12,13
V	Врло слаба ерозија	0-5	379,88	72,16
Укупно			526,46	100,00

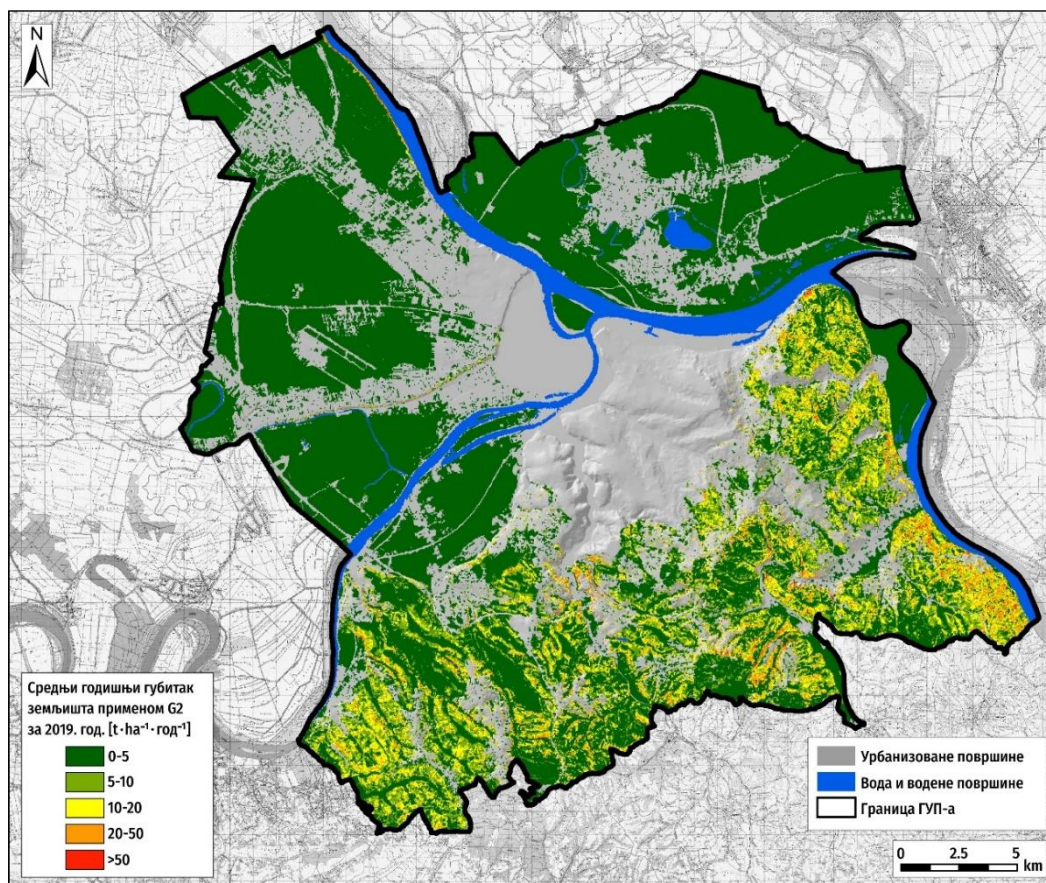


Слика 5.45. Просторни распоред губитака земљишта применом модела G2 за 2001. годину

Према усвојеном сценарију RCP 8.5., за период блиске будућности (2046-2065), процењени су губици земљишта применом модела G2, на основу структуре земљишног покривача из 2019. године. Просечна вредност за истраживано подручје износи $E=3,63 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{god}^{-1}$, са распонем вредности $E=0-193,11 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{god}^{-1}$ (Слика 5.46.), што указује на категорију врло слабе ерозије. Просторни распоред губитака земљишта приказан је на слици 5.46., а површинска заступљеност појединих категорија разорности приказана је у табели 5.17. Примена модела G2 показује смањење губитака земљишта за 11,68%, за 2019. годину у односу на 2001. годину.

Табела 5.17. Губитак земљишта на истраживаном подручју за 2019. годину применом модела G2

Категорија разорности	Јачина ерозионих процеса	Количина $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{god}^{-1}$	km^2	%
I	Експесивна ерозија	>50	0,98	0,20
II	Јака ерозија	20-50	16,38	3,40
III	Средња ерозија	10-20	45,22	9,39
IV	Слаба ерозија	5-10	58,73	12,20
V	Врло слаба ерозија	0-5	360,08	74,80
Укупно			481,39	100,00



Слика 5.46. Просторни распоред губитака земљишта применом модела G2 за 2019. годину

5.5. Компарација резултата примењених метода

5.5.1. Компаративна анализа између ерозионих фактора

Применом савремених статистичких метода у ГИС окружењу добијена је просторна корелација и регресија између улазних параметара, за оба временска пресека, за сва три анализирана ерозиона модела. Савремене статистичке методе су примењене на добијене растерске геопросторне скупове података, где сваки пиксел на истраживаном подручју представља скуп улазних параметара. У табелама 5.18., 5.19., 5.20., приказана је просторна корелација улазних параметара, за сва три ерозиона модела, у односу на први временски пресек (2001. годину). У табели 5.18., приказана је просторна корелација између улазних параметара за прорачун вредности у Методи Потенцијала ерозије. Највећи утицај на величину вредности ерозионе продукције има коефицијент ерозије Z, следи коефицијент уређења слива X·a, затим коефицијент видљивих и јасно изражених ерозионих процеса φ.

Табела 5.18. Просторна корелација између улазних параметара у моделу МПЕ за 2001. год.

	W_{god}	H_{god}	t_{sr}	Z	X·a	φ	Y	I_{sr}
W_{god}	1	0,1540	-0,0001	0,7301	0,3050	0,2602	0,1872	0,1900
H_{god}	0,1540	1	-0,0029	-0,1171	-0,3587	-0,3504	-0,1082	0,2855
t_{sr}	-0,0001	-0,0029	1	-0,0001	-0,0001	-0,0001	-0,0249	0,0071
Z	0,7301	-0,1171	-0,0001	1	0,8086	0,7992	0,4256	0,1997
X·a	0,3050	-0,3587	-0,0001	0,8086	1	0,9860	0,2468	-0,0826
φ	0,2602	-0,3504	-0,0001	0,7992	0,9860	1	0,2863	-0,0264
Y	0,1872	-0,1082	-0,0249	0,4256	0,2468	0,2863	1	0,1604
I_{sr}	0,1900	0,2855	0,0071	0,1997	-0,0826	-0,0264	0,1604	1

У табели 5.19., приказана је просторна корелација између улазних параметара који се користе у моделу RUSLE, за први временски пресек (2001. година). Највећи утицај на интензитет ерозије има фактор LS (топографски фактор) са коефицијентом корелације 0,42499, затим следи фактор C са коефицијентом корелације 0,21727.

Табела 5.19. Просторна корелација између улазних параметара у моделу RUSLE за 2001. год.

	A	R	K	LS	C
A	1	0,17659	0,07562	0,42499	0,21727
R	0,17659	1	-0,35524	0,25805	-0,36139
K	0,07562	-0,35524	1	0,11451	0,30452
LS	0,42499	0,25805	0,11451	1	-0,13886
C	0,21727	-0,36139	0,30452	-0,13886	1

У табели 5.20., приказане су вредности просторне корелације између фактора који се користе у прорачуну интензитета ерозије, применом модела G2. Представљене вредности описују просторну корелацију за први временски пресек (2001. година). Најизраженији је утицај топографског фактора T, са коефицијентом корелације од 0,58872. Фактор R (ерозиона снага кише) има утицај изражен коефицијентом корелације 0,21523.

Табела 5.20. Просторна корелација између улазних параметара у моделу G2 за 2001. год.

	E	R	V	S	T	I
E	1	0,21523	-0,04613	0,08754	0,58872	-0,06469
R	0,21523	1	0,11043	-0,32437	0,23452	-0,05515
V	-0,04613	0,11043	1	-0,00507	0,11715	0,05164
S	0,08754	-0,32437	-0,00507	1	0,10115	0,12677
T	0,58872	0,23452	0,11715	0,10115	1	-0,02912
I	-0,06469	-0,05515	0,05164	0,12677	-0,02912	1

Просторна корелација улазних параметара, за сва три анализирана модела, за други временски пресек (2019. година), приказана је у табелама 5.21., 5.22., 5.23. Просторна корелација између улазних параметара у МПЕ приказана је у табели 5.21. Највећи утицај на интензитет ерозије такође имају коефицијенти Z, X·a, φ, са вредностима коефицијената корелације: 0,9751; 0,3317 и 0,2810.

Табела 5.21. Просторна корелација између улазних параметара у моделу МПЕ за 2019. год.

	W _{god}	H _{god}	t _{sr}	Z	X·a	φ	Y	I _{sr}
W _{god}	1	0,0940	-0,0001	0,9751	0,3317	0,2810	0,1371	0,1171
H _{god}	0,0940	1	-0,0048	0,0596	-0,3587	-0,3506	-0,1427	0,3061
t _{sr}	-0,0001	-0,0048	1	-0,0002	0,0000	0,0000	-0,0001	-0,0001
Z	0,9751	0,0596	-0,0002	1	0,4003	0,3326	0,1099	0,0800
X·a	0,3317	-0,3587	0,0000	0,4003	1	0,9850	0,1969	-0,1000
φ	0,2810	-0,3506	0,0000	0,3326	0,9850	1	0,2333	-0,0363
Y	0,1371	-0,1427	-0,0001	0,1099	0,1969	0,2333	1	0,1604
I _{sr}	0,1171	0,3061	-0,0001	0,0800	-0,1000	-0,0363	0,1604	1

Утицај појединих фактора на прорачунате вредности интензитета ерозије земљишта, према моделу RUSLE, за други временски пресек (2019. година), приказан је у табели 5.22. Највећи утицај има топографски фактор LS, са коефицијентом корелације 0,40575, затим фактори C са коефицијентом корелације 0,19361 и R са коефицијентом корелације 0,16688.

Табела 5.22. Просторна корелација између улазних параметара у моделу RUSLE за 2019. год.

	A	R	K	LS	C
A	1	0,16688	0,06935	0,40575	0,19361
R	0,16688	1	-0,37771	0,27453	-0,37894
K	0,06935	-0,37771	1	0,1145	0,26088
LS	0,40575	0,27453	0,1145	1	-0,14658
C	0,19361	-0,37894	0,26088	-0,14658	1

Утицај појединих фактора на интензитет ерозије, за други временски пресек (2019. година), према моделу G2, приказан је у табели 5.23. Највећи утицај показује топографски фактор Т са коефицијентом корелације од 0,58731, следи фактор ерозионе снаге кише R са коефицијентом корелације 0,20802.

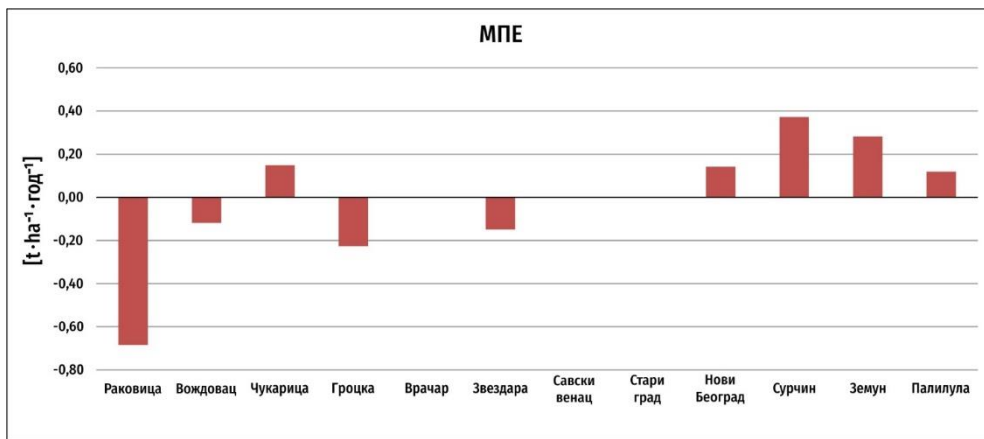
Табела 5.23. Просторна корелација између улазних параметара у моделу у G2 за 2019. год.

	E	R	V	S	T	I
E	1	0,20802	-0,02525	0,07701	0,58731	-0,04529
R	0,20802	1	0,10343	-0,3465	0,24752	0,05456
V	-0,02525	0,10343	1	0,03188	0,07628	0,10729
S	0,07701	-0,3465	0,03188	1	0,10115	0,05754
T	0,58731	0,24752	0,07628	0,10115	1	-0,03436
I	-0,04529	0,05456	0,10729	0,05754	-0,03436	1

5.5.2. Компаративна анализа интензитета ерозионих процеса у односу на просторну стратификацију

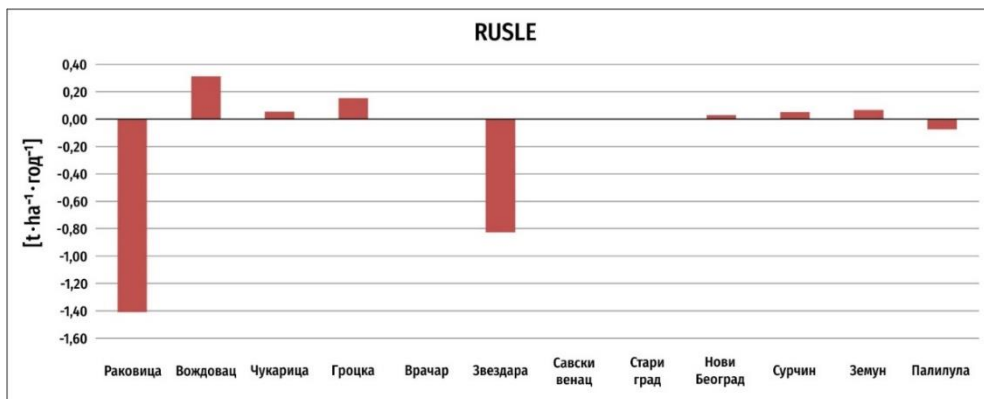
Интензитет ерозионих процеса анализиран је на нивоу просторних целина као што су градске општине и катастарске општине, које се налазе у целини или делом у границама Генералног урбанистичког плана. Поред њих, интензитет ерозионих процеса је анализиран и на основу просторних зона које су дефинисане Генералним урбанистичким планом. Резултати су приказани за оба временска пресека и за сваку просторну целину у прилогу А (на крају текста доктората), док је графички приказ дат у прилогу Б. Подручја градских и катастарских општина Врачар, Савски венац и Стари град нису узета у анализу, услед чињенице да имају знатно учешће непорозних површина које нису изложене деловању ерозионих процеса.

Разлике вредности просечних губитака земљишта, израчунате применом МПЕ на подручју градских општина у обухвату ГУП-а, за оба временска пресека, приказане су на слици 5.47. Просечна вредност губитака земљишта повећала се на подручју градских општина Нови Београд, Сурчин, Земун, Палилула и Чукарица (Табела А.1.1. у Прилогу А и Слика Б.1.1. у прилогу Б), а смањила се на простору општина Раковица, Гроцка и Звездара.



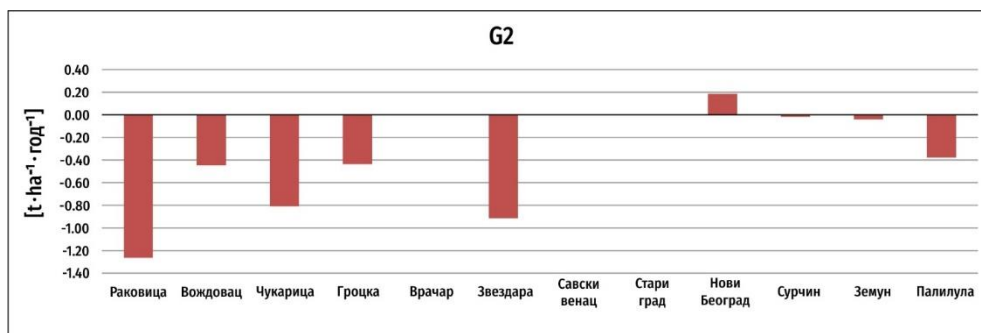
Слика 5.47. Разлике у вредностима просечних губитака земљишта на територији градских општина које су у обухвату ГУП-а, применом МРЕ за оба временска пресека (2001. и 2019. година)

Применом модела RUSLE, за оба временска пресека (Слика 5.48.), утврђен је незнатан пораст просечних вредности губитака земљишта, на подручју градских општина Вождовац, Гроцка и Чукарица, док је смањење забележено на простору Раковице, Звездаре и Палилуле (Табела А.1.2. у Прилогу А и Слика Б.1.2. у прилогу Б).



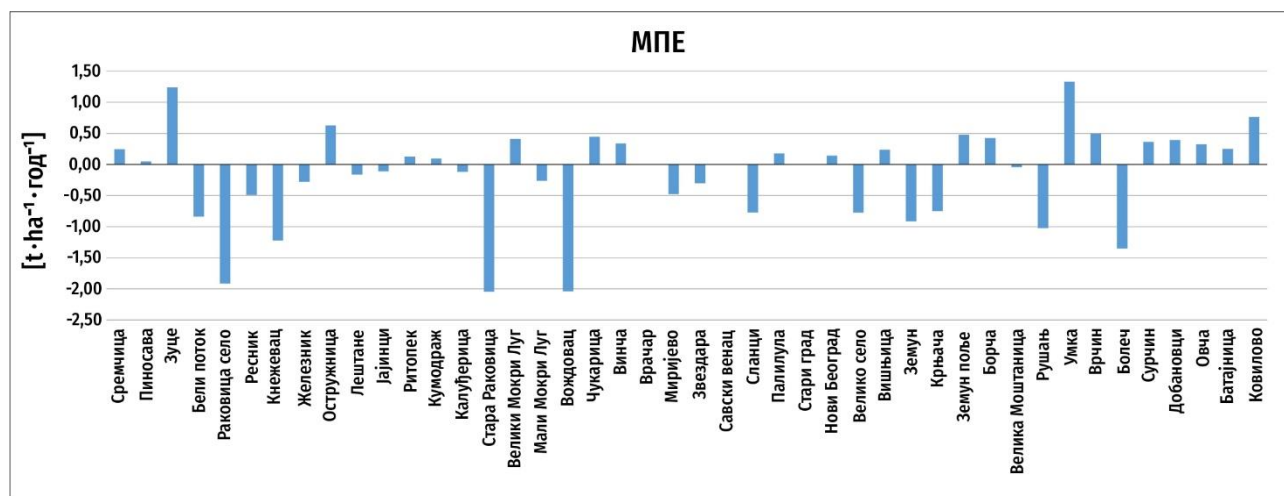
Слика 5.48. Разлике у вредностима просечних губитака земљишта на територији градских општина које су у обухвату ГУП-а, применом модела RUSLE за оба временска пресека (2001. и 2019. година)

Применом модела G2, утврђено је знатно смањење вредности просечних губитака земљишта на територијама градских општина Раковица, Чукарица и Звездара, нешто мање на простору Вождовца, Гроцке и Палилуле, а незнатно на подручју Земуна и Сурчина (Слика 5.49.). Повећање губитака земљишта је установљено само на подручју општине Нови Београд (Табела А.1.3. у Прилогу А и Слика Б.1.3. у прилогу Б).



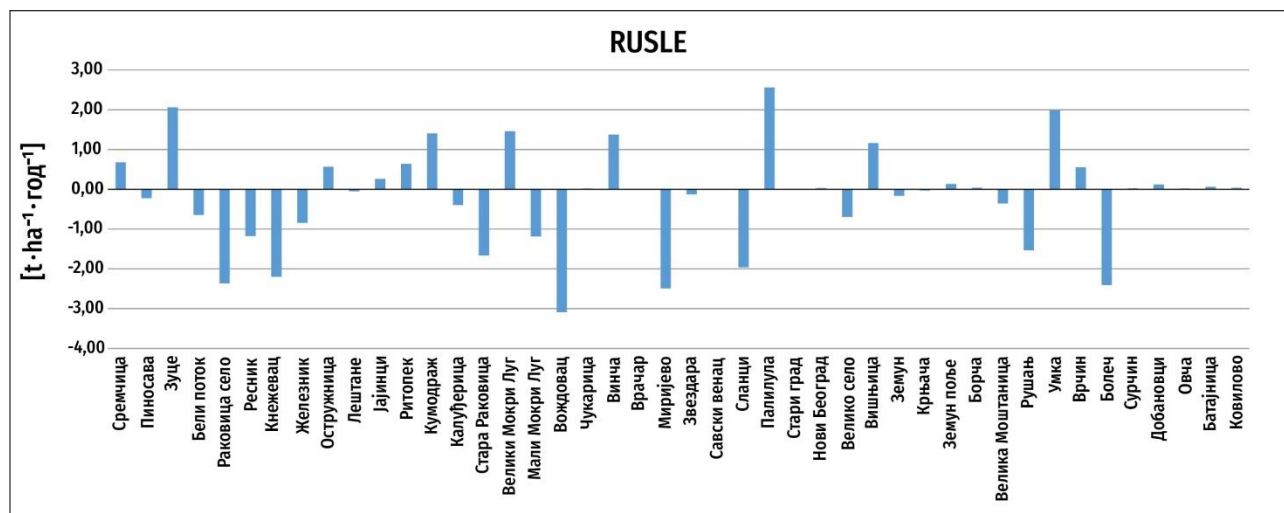
Слика 5.49. Разлике у вредностима просечних губитака земљишта на територији градских општина које су у обухвату ГУП-а, применом модела G2 за оба временска пресека (2001. и 2019. година)

Детаљније анализе рађене су на нивоу катастарских општина, за сва три модела, у оба временска пресека. Према Методи Потенцијала ерозије, просечне вредности губитака земљишта су се увећале значајно на катастарским општинама Зуце, Умка и Винча (Слика 5.50.), док је знатно смањење утврђено на катастарским општинама Стара Раковица, Раковица Село, Вождовац, Болеч (Табела А.2.1. у Прилогу А и Слика Б.2.1. у прилогу Б).



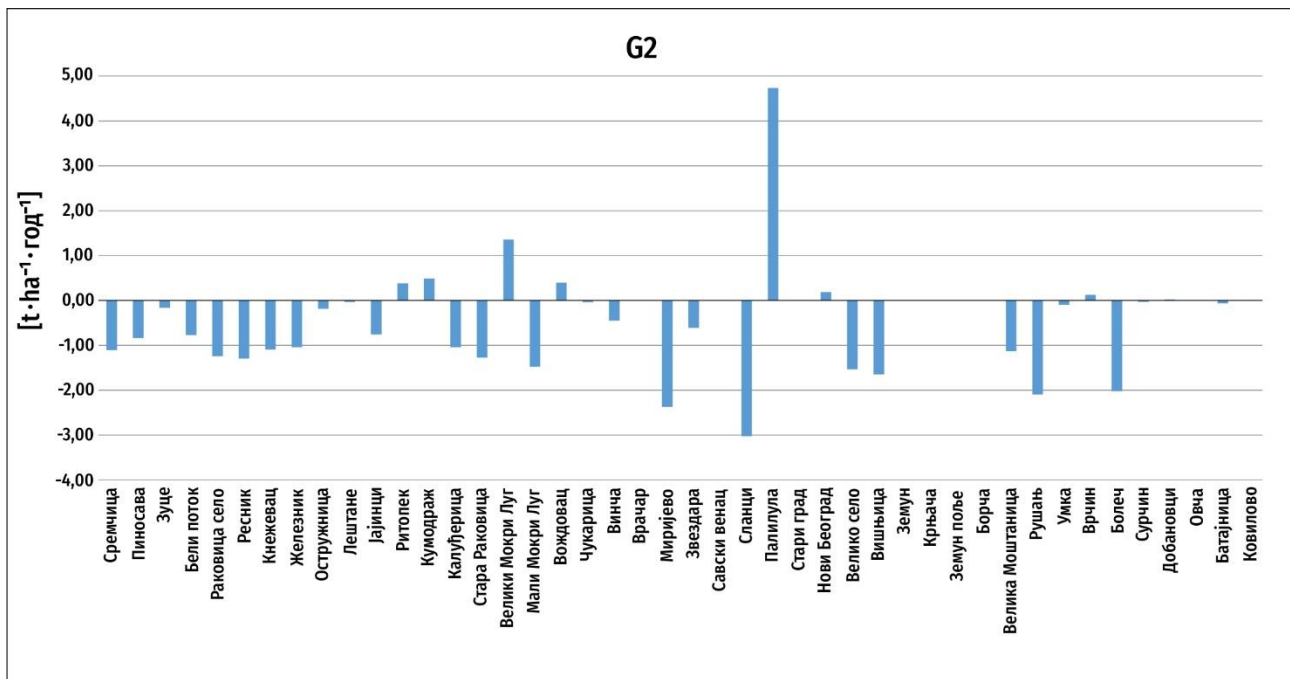
Слика 5.50. Разлике у вредностима просечних губитака земљишта на територији катастарских општина, применом МРЕ за оба временска пресека (2001. и 2019. година)

Применом модела RUSLE, утврђено је значајно повећање просечних вредности губитака земљишта на катастарским општинама Зуце, Палилула и Умка (Слика 5.51.), док је на К.О. Раковица село, Кнежевац, Вождовац, Миријево, Сланци и Болеч утврђено значајно смањење (Табела А.2.2. у Прилогу А и Слика Б.2.2. у прилогу Б).



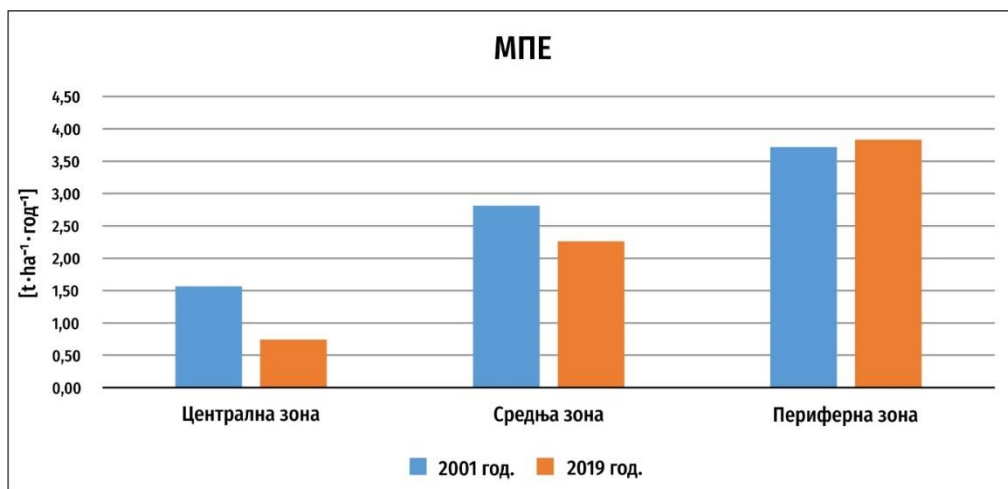
Слика 5.51. Разлике у вредностима просечних губитака земљишта на територији катастарских општина, применом модела RUSLE за оба временска пресека (2001. и 2019. година)

Анализа губитака земљишта применом ерозионог модела G2 (Слика 5.52.), показала је знатно повећање просечних вредности губитака земљишта на подручју катастарских општина Палилула и Велики Мокри Луг, док је значајно смањење утврђено на К.О. Сланци, Миријево, Рушањ и Болеч (Табела А.2.3. у Прилогу А и Слика Б.2.3. у прилогу Б).



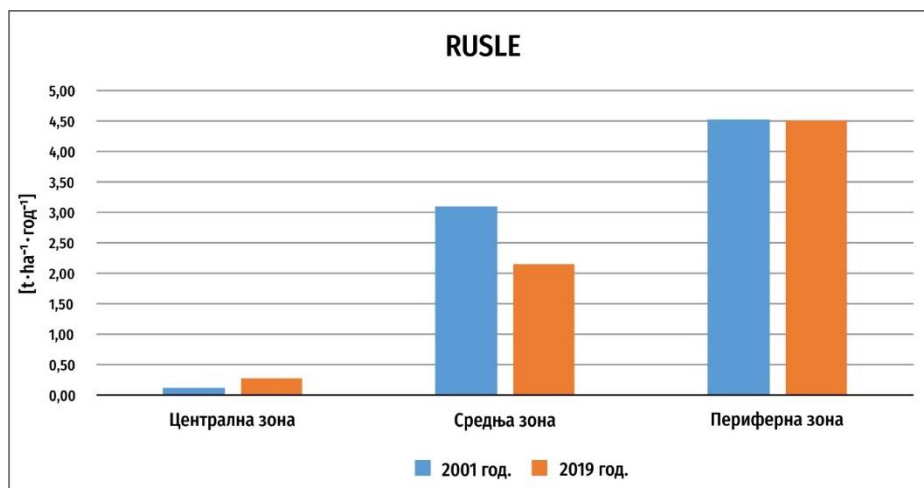
Слика 5.52. Разлике у вредностима просечних губитака земљишта на територији катастарских општина, применом модела G2 за оба временска пресека (2001. и 2019. година)

Компарација губитака земљишта према три коришћена модела обављена је и на нивоу просторних зона, које су дефинисане ГУП-ом. Просечне вредности губитака земљишта су смањене у централној и средњој зони ГУП-а, применом МПЕ, док је уочен благи пораст вредности у периферној зони (Слика 5.53. и Табела А.3.1. у Прилогу А и Слика Б.3.1. у прилогу Б).



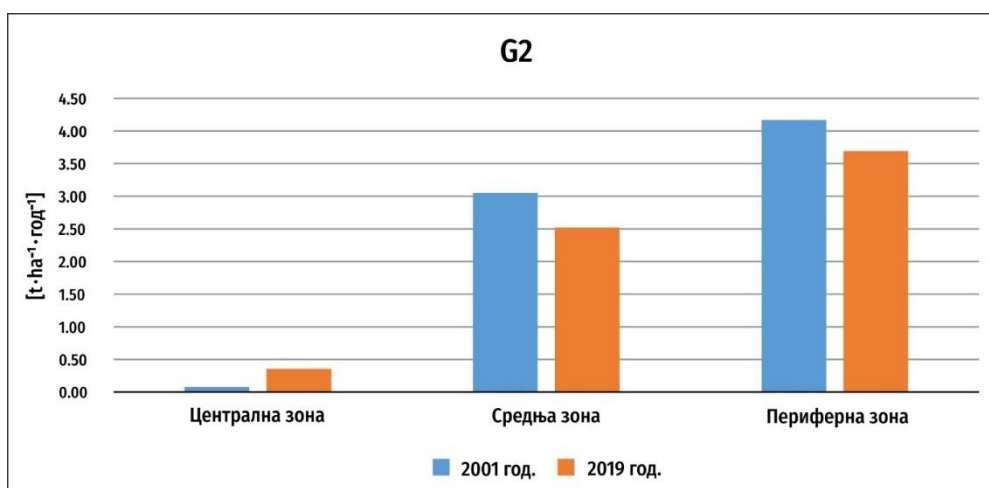
Слика 5.53. Промена просечних вредности губитака земљишта применом МПЕ на подручју просторних зона ГУП-а

Применом модела RUSLE утврђено је смањење просечних вредности губитака земљишта у средњој и периферној зони ГУП-а, док је у централној зони утврђен значајан пораст (Слика 5.54. и Табела А.3.2. у Прилогу А и Слика Б.3.2. у прилогу Б).



Слика 5.54. Промена просечних вредности губитака земљишта применом RUSLE на подручју просторних зона ГУП-а

Применом модела G2 утврђено је смањење просечних вредности губитака земљишта у средњој и периферној зони, док је утврђено повећање у централној зони (Слика 5.55. и Табела А.3.3. у Прилогу А и Слика Б.3.3. у прилогу Б).



Слика 5.55. Промена просечних вредности губитака земљишта применом G2 на подручју просторних зона ГУП-а

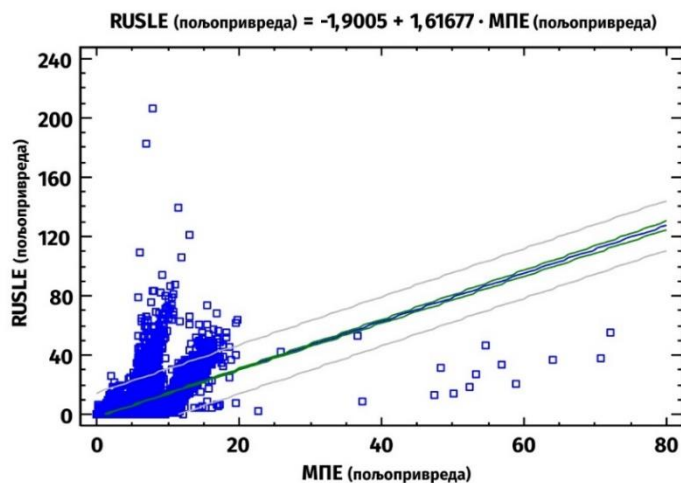
5.5.3. Компаративна анализа интензитета ерозионих процеса у односу на планирану намену

ГУП-ом је дефинисана планирана намена површина у односу на постојеће стање. Део простора под површинама са значајним степеном порозности, односно, релативно очуване земљишне површине (шуме и шумско земљиште, зелене површине, остале зелене површине, режими посебне намене и пољопривредне површине), означен је као део ГУП-а изложен ризику од деловања интензивних ерозионих процеса. Добијени подаци истраживања су статистички обрађени применом метода линеарне регресије и методом корелације, за сва три ерозиона модела, за други временски пресек (2019. година).

У табели 5.24. приказани су статистички параметри линеарне регресије између МПЕ и RUSLE, за пољопривредне површине, док је на слици 5.56. дат графички приказ.

Табела 5.24. Статистички параметри линеарне регресије између МПЕ и RUSLE на планираном пољопривредном земљишту

Коефицијент корелације	Коефицијент детерминације	Коефицијент детерминације (коригован за степен слободe)	Стандардна грешка процене	Средња апсолутна грешка
0,59	0,35	0,35	8,44	4,86

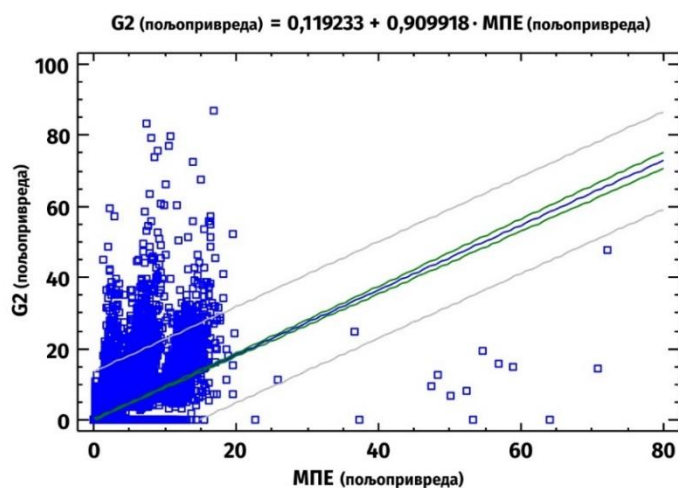


Слика 5.56. Регресиона зависност између МПЕ и RUSLE на планираном пољопривредном земљишту

Статистички параметри линеарне регресије између МПЕ и G2 на планираном пољопривредном земљишту приказани су у табели 5.25., док је графички приказ дат на слици 5.57.

Табела 5.25. Статистички параметри линеарне регресије између МПЕ и G2 на планираном пољопривредном земљишту

Коефицијент корелације	Коефицијент детерминације	Коефицијент детерминације (коригован за степен слободe)	Стандардна грешка процене	Средња апсолутна грешка
0,44	0,20	0,20	6,89	4,59

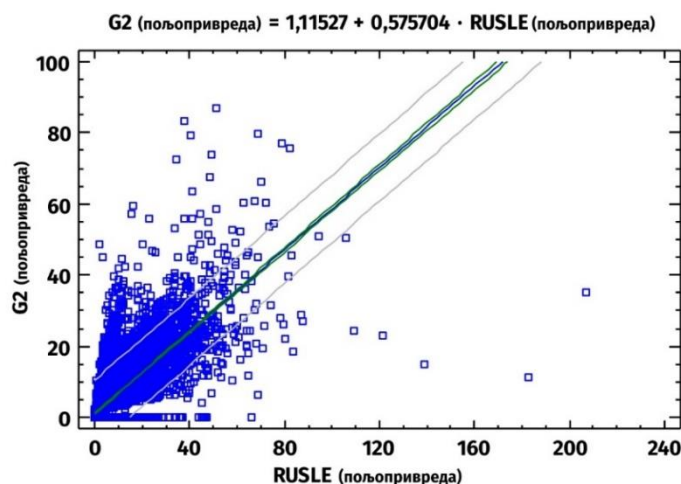


Слика 5.57. Регресиона зависност између МПЕ и G2 на планираном пољопривредном земљишту

Линеарна регресија примењена је и између модела RUSLE и G2 на податке за планирано пољопривредно земљиште. У табели 5.26. приказани су статистички параметри линеарне регресије, док је графички приказ дат на слици 5.58.

Табела 5.26. Статистички параметри линеарне регресије између RUSLE и G2 на планираном пољопривредном земљишту

Коефицијент корелације	Коефицијент детерминације	Коефицијент детерминације (коригован за степен слободе)	Стандардна грешка процене	Средња апсолутна грешка
0,78	0,61	0,61	4,82	2,74

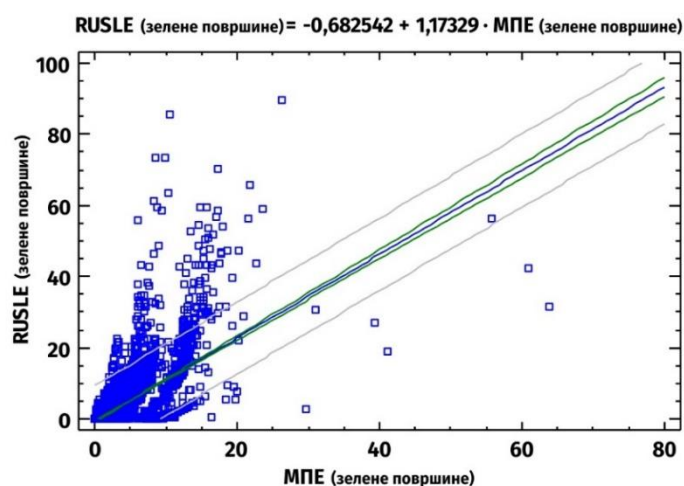


Слика 5.58. Регресиона зависност између RUSLE и G2 на планираном пољопривредном земљишту

На простору планираних зелених површина примењена је регресија између сва три модела. У табели 5.27. приказани су статистички параметри између МПЕ и RUSLE, док је статистички приказ дат на слици 5.59.

Табела 5.27. Статистички параметри линеарне регресије између МПЕ и RUSLE на планираним зеленим површинама

Коефицијент корелације	Коефицијент детерминације	Коефицијент детерминације (коригован за степен слободе)	Стандардна грешка процене	Средња апсолутна грешка
0,64	0,40	0,40	5,15	2,60

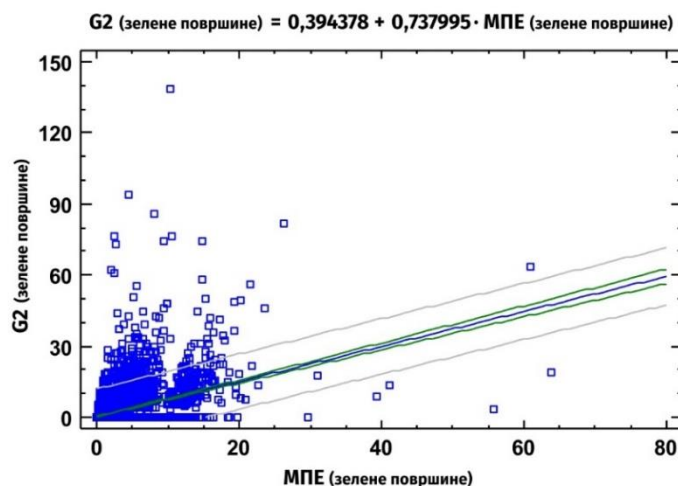


Слика 5.59. Регресиона зависност између МПЕ и RUSLE на планираним зеленим површинама

Анализа зависности између МПЕ и G2 на планираним зеленим површинама приказана је на слици 5.60., док су параметри линеарне регресије дати у табели 5.28.

Табела 5.28. Статистички параметри линеарне регресије између МПЕ и G2 на планираним зеленим површинама

Коефицијент корелације	Коефицијент детерминације	Коефицијент детерминације (коригован за степен слободe)	Стандардна грешка процене	Средња апсолутна грешка
0,41	0,17	0,17	5,93	3,05

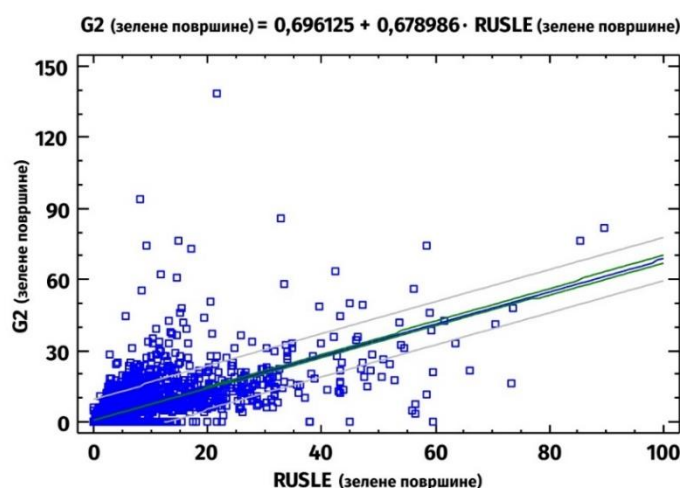


Слика 5.60. Регресиона зависност између МПЕ и G2 на планираним зеленим површинама

У табели 5.29. и на слици 5.61. приказани су статистички параметри и зависности између RUSLE и G2 на планираним зеленим површинама.

Табела 5.29. Статистички параметри линеарне регресије између RUSLE и G2 на планираним зеленим површинама

Коефицијент корелације	Коефицијент детерминације	Коефицијент детерминације (коригован за степен слободe)	Стандардна грешка процене	Средња апсолутна грешка
0,69	0,49	0,49	4,65	1,97

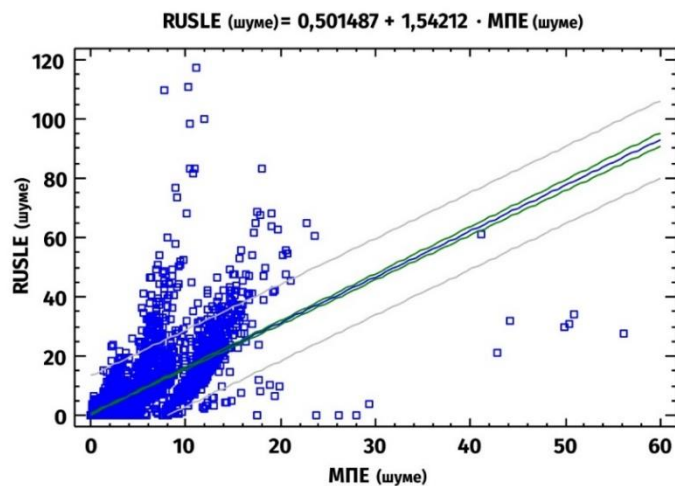


Слика 5.61. Регресиона зависност између RUSLE и G2 на планираним зеленим површинама

Планиране шумске површине представљају простор на коме је такође анализиран губитак земљишта, применом сва три ерозиона модела. У табели 5.30., приказани су статистички параметри линеарне регресије између МПЕ и RUSLE, док је зависност приказана на слици 5.62.

Табела 5.30. Статистички параметри линеарне регресије између МПЕ и RUSLE на планираним шумским површинама

Коефицијент корелације	Коефицијент детерминације	Коефицијент детерминације (коригован за степен слободe)	Стандардна грешка процене	Средња апсолутна грешка
0,68	0,47	0,47	6,57	3,13

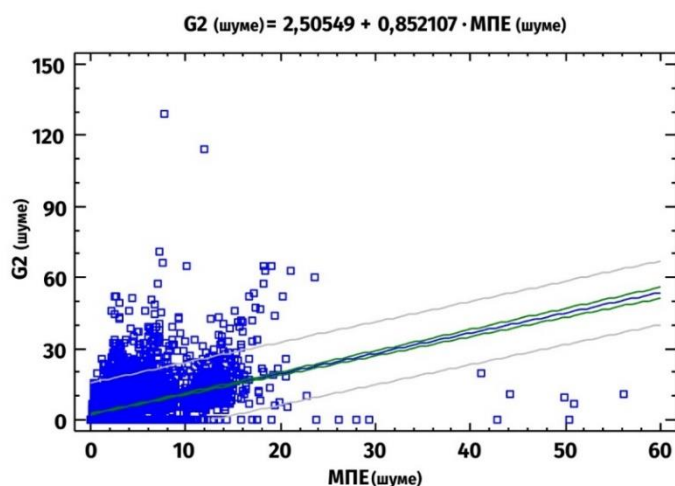


Слика 5.62. Регресиона зависност између МПЕ и RUSLE на планираним шумским површинама

Статистички параметри између модела МПЕ и G2 на планираним шумским површинама дати су у табели 5.31., док је зависност између ова два модела приказана на слици 5.63.

Табела 5.31. Статистички параметри линеарне регресије између МПЕ и G2 на планираним шумским површинама

Коефицијент корелације	Коефицијент детерминације	Коефицијент детерминације (коригован за степен слободe)	Стандардна грешка процене	Средња апсолутна грешка
0,45	0,21	0,21	6,74	4,06

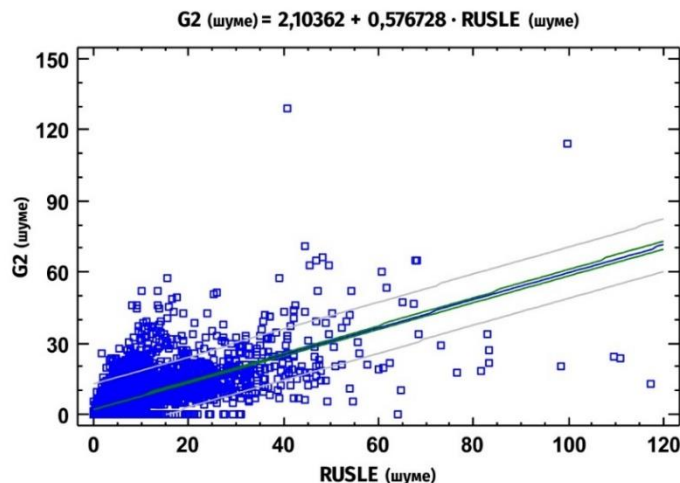


Слика 5.63. Регресиона зависност између МПЕ и G2 на планираним шумским површинама

На планираним шумским површинама примењена је и линеарна регресија, између модела RUSLE и G2. Статистички параметри дати су у табели 5.32., док је графички приказ дат на слици 5.64.

Табела 5.32. Статистички параметри линеарне регресије између RUSLE и G2 на планираним шумским површинама

Коефицијент корелације	Коефицијент детерминације	Коефицијент детерминације (коригован за степен слободе)	Стандардна грешка процене	Средња апсолутна грешка
0,68	0,48	0,48	5,47	3,18

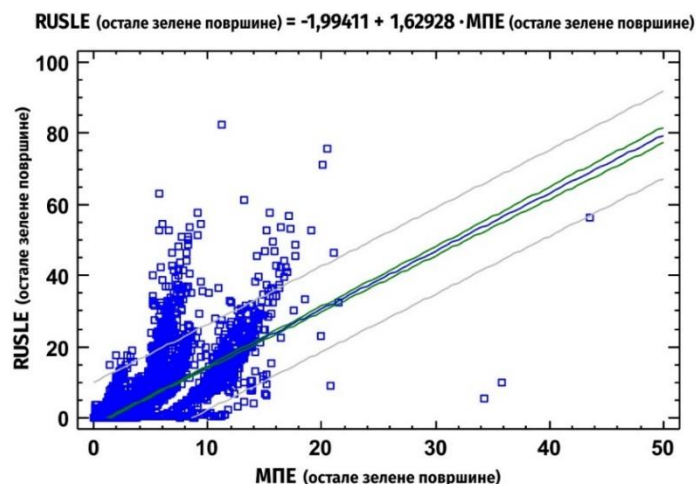


Слика 5.64. Регресиона зависност између RUSLE и G2 на планираним шумским површинама

Статистичка зависност између анализираних модела је примењена и на простору који је дефинисан као „остале зелене површине“. Статистички параметри линеарне регресије између МПЕ и RUSLE модела су приказани у табели 5.33., док је графички приказ дат на слици 5.65.

Табела 5.33. Статистички параметри линеарне регресије између МПЕ и RUSLE на планираној намени „остале зелене површине“

Коефицијент корелације	Коефицијент детерминације	Коефицијент детерминације (коригован за степен слободе)	Стандардна грешка процене	Средња апсолутна грешка
0,66	0,44	0,44	6,11	3,63



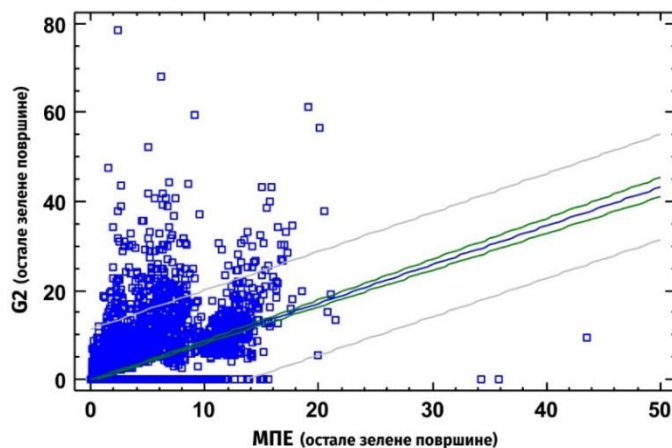
Слика 5.65. Регресиона зависност између МПЕ и RUSLE на планираној намени „остале зелене површине“

Статистички параметри линеарне регресије између МПЕ и G2, за намену „остале зелене површине“, дати су у табели 5.34., са графичким приказом на слици 5.66.

Табела 5.34. Статистички параметри линеарне регресије између МПЕ и G2 на планираној намени „остале зелене површине“

Коефицијент корелације	Коефицијент детерминације	Коефицијент детерминације (коригован за степен слободe)	Стандардна грешка процене	Средња апсолутна грешка
0,44	0,19	0,19	5,93	3,79

$$G2(\text{остале зелене површине}) = -0,265836 + 0,869173 \cdot \text{МПЕ}(\text{остале зелене површине})$$



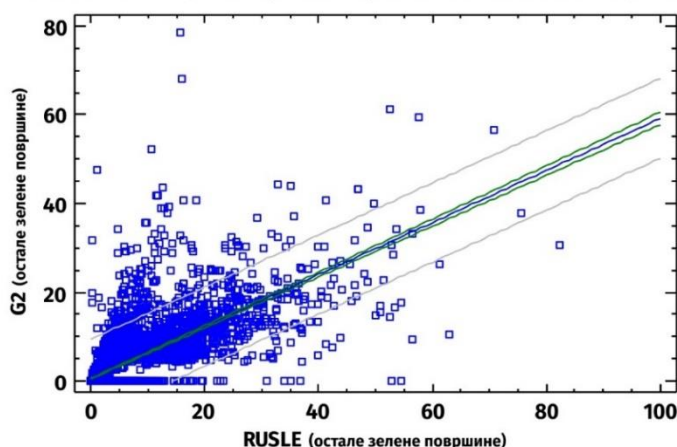
Слика 5.66. Регресиона зависност између МПЕ и G2 на планираној намени „остале зелене површине“

Применом линеарне регресије између модела RUSLE и G2, на планираној намени „остале зелене површине“, добијени су статистички параметри приказани у табели 5.35., са графичким приказом на слици 5.67.

Табела 5.35. Статистички параметри линеарне регресије између RUSLE и G2 на планираној намени „остале зелене површине“

Коефицијент корелације	Коефицијент детерминације	Коефицијент детерминације (коригован за степен слободe)	Стандардна грешка процене	Средња апсолутна грешка
0,73	0,53	0,53	4,54	2,43

$$G2(\text{остале зелене површине}) = 0,541633 + 0,58626 \cdot \text{RUSLE}(\text{остале зелене површине})$$

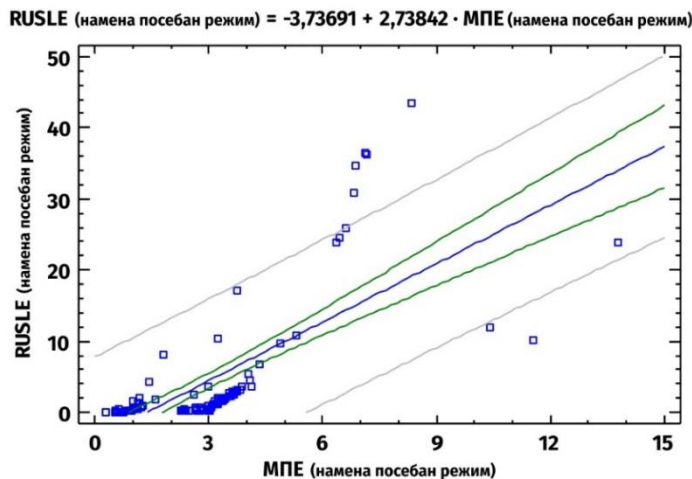


Слика 5.67. Регресиона зависност између RUSLE и G2 на планираној намени „остале зелене површине“

Статистичка зависност између анализираних модела је примењена и на простору који је дефинисан као „посебан режим“. У табели 5.36. дати су статистички параметри линеарне регресије између модела МПЕ и RUSLE, са графичким приказом на слици 5.68.

Табела 5.36. Статистички параметри линеарне регресије између МПЕ и RUSLE на планираној намени „посебан режим“

Коефицијент корелације	Коефицијент детерминације	Коефицијент детерминације (коригован за степен слободe)	Стандардна грешка процене	Средња апсолутна грешка
0,73	0,53	0,52	5,76	3,85

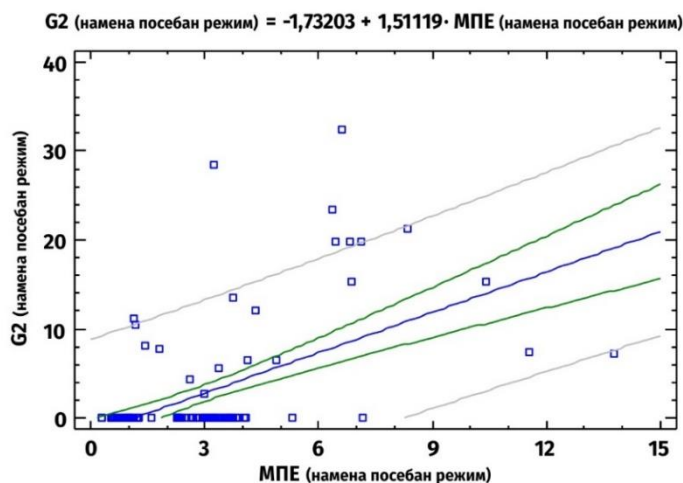


Слика 5.68. Регресиона зависност између МПЕ и RUSLE на планираној намени „посебан режим“

Планирана намена „посебан режим“ је анализирана и на основу МПЕ и G2 модела. Статистички параметри су дати у табели 5.37., са графичким приказом на слици 5.69.

Табела 5.37. Статистички параметри линеарне регресије између МПЕ и G2 на планираној намени „посебан режим“

Коефицијент корелације	Коефицијент детерминације	Коефицијент детерминације (коригован за степен слободe)	Стандардна грешка процене	Средња апсолутна грешка
0,54	0,29	0,28	5,27	3,24

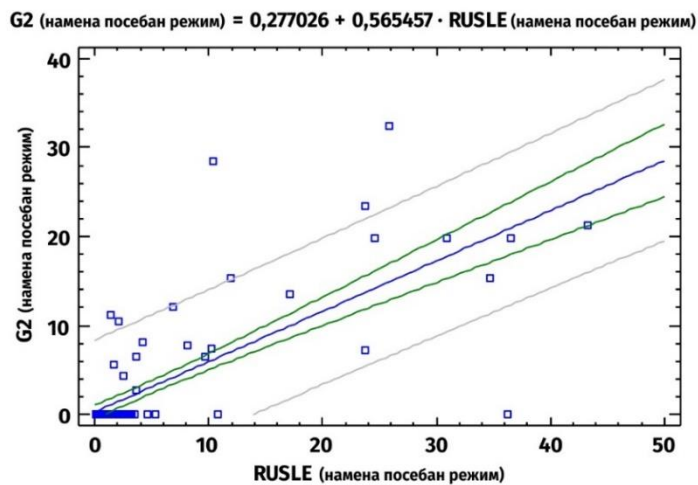


Слика 5.69. Регресиона зависност између МПЕ и G2 на планираној намени „посебан режим“

Статистички параметри линеарне регресије између модела RUSLE и G2 на планираној намени „посебан режим“ су дати у табели 5.38., са графичким приказом на слици 5.70.

Табела 5.38. Статистички параметри линеарне регресије између RUSLE и G2 на планираној намени „посебан режим“

Коефицијент корелације	Коефицијент детерминације	Коефицијент детерминације (коригован за степен слободe)	Стандардна грешка процене	Средња апсолутна грешка
0,76	0,58	0,57	4,07	1,935



Слика 5.70. Регресиона зависност између RUSLE и G2 на планираној намени „посебан режим“

6. ДИСКУСИЈА

Према представљеним теоријским основама, применом описаних методолошких поступака, обрадом и анализом добијених резултата истраживања, утврђена је могућност примене три модела (МПЕ, RUSLE, G2) за квантификацију интензитета ерозионих процеса на подручју ГУП-а Београда.

Интензивна урбанизација захтева заузеће нових површина, што се углавном одвија на рачун природних и природи блиских површина (шуме, ливаде, пашњаци, пољопривредно земљиште, итд.) у непорозне површине (асфалтиране, бетониране или под другим водонепропусним покривачем). Ово нужно доводи до значајне промене структуре земљишног покривача и предеоних елемената, са различитим негативним ефектима: генеза брзог површинског отицаја, повећање фреквенције појаве бујичних и урбаних поплава, као и интензивирање ерозионих процеса (Scalenghe, Marsan, 2009). Наведене промене доводе до повећаног ризика за стабилност инфраструктуре (путна мрежа и мостови), стамбених и комерцијалних зона, канализационих и одводних система, водоизворишта и акумулација, чиме виталне урбане функције постају угрожене (Strahler, 2010; Merz et al., 2010; Shikangalah et al., 2016). Са друге стране, ерозија земљишта представља вектор негативних утицаја и може да доведе до транспорта полутаната, контаминације земљишта и водоизворишта, чиме се угрожава јавно здравље (Gaffield et al., 2003). Интензивна деградација земљишта, деловањем ерозионих процеса, утиче на одношење хранљивих материја и губитак плодности (Poesen, Hooke, 1997; Kheir, 2008), повећање емисије угљеника у атмосферу (Gaiser et al., 2008) и појачавање ефеката климатских промена.

На бази наведених чињеница намеће се потреба за коришћењем савремених приступа, истраживачких процедура, метода и техника, којима се веродостојно сагледава просторна и временска разлика генезе ерозионих процеса и последичних форми деградације животне средине. Савремени градови су динамичан конгломерат урбаних функција које примарно зависе од изграђене инфраструктуре и објеката, и значајно утичу на квалитет живота становништва. Подручје урбаног предела Београда, односно територија Генералног урбанистичког плана (ГУП) Београда, представља део националне урбанистичко-просторно планске легислативе, са основним пројекцијама развоја и просторног уређења града, организације грађења као и заштите урбаног простора.

6.1. Оцена тачности класификације и анализе промене структуре земљишног покривача

Унапређење опреме и поступака за посматрање површине Земље, у различитим просторно-временским распонима, ради задовољења различитих области уз значајно унапређење методологије обраде података, довели су до генерисања веродостојнијих база података о земљишном покривачу. Коришћење спектралних индекса временских серија, уз употребу унутар годишњих серија о фенолошким разликама, као и међугодишњих серија, побољшава тачност карактеризације типова земљишног покривача и идентификује динамику промена.

За потребе класификације земљишног покривача, поред комбинације мултиспектралних канала и примене технике машинског учења, коришћени су и спектрални индекси. Спектрални индекси представљају примарне продукте коришћења спектралних канала, на основу различитих емпиријских формула (Niculescu et al., 2018; Abdi, 2019). Спектрални индекси су додатни извор информација у процесу класификације земљишног покривача. Неки од спектралних индекса истичу одређене површине (нпр. присуство вегетације) или помажу у јасној фрагментацији површина (нпр. раздавајање водених и урбанизованих површина). Поред овога, улога спектралних индекса помаже у одређивању прагова за класификацију површина, као и приликом издвајања јаснијих форми и граница просторних ентитета, као и код корекције површине сенке од вегетације и изграђених површина. Вредност NDVI вегетационог индекса, за први временски пресек (2001. година), се креће у распону од -0,37 до 0,71, са средњом вредношћу 0,30. Вредности NDVI индекса за други временски пресек (2019. година) се крећу

у распону од -1 до 0,87, са просечном вредношћу 0,54. Високе позитивне вредности указују на присуство вегетације, док су негативне вредности индикатор постојања водених површина. Вредности NDVI индекса, за оба временска пресека, имају усаглашене вредности према описаној методологији (Deering, 1978). Вредности побољшаног индекса вегетације (EVI) за први временски пресек (2001. година) имају распон од -0,41 до 1, са просечном вредношћу од 0,42. Вредности побољшаног индекса вегетације за други временски пресек (2019. година) се налазе у опсегу од -0,19 до 1 са средњом вредношћу од 0,55. Као и за NDVI индекс, вредности EVI су у сагласности са опсегом вредности према описаној методологији (Didan et al., 2015), где негативне вредности указују на водене површине, а високе позитивне вредности су индикатор постојања густе вегетације.

Како би се идентификовало присуство водених површина и отклониле „грешке укључивања“ класа водених површина на локацијама изграђених површина и на локацијама са густом вегетацијом, примењен је и MNDWI индекс, чије се вредности у првом временском пресеку (2001. година) крећу у интервалу од -0,55 до 0,7, са просечном вредношћу -0,09. Вредности MNDWI за други временски пресек (2019. година) се крећу у распону од -0,72 до 1, са просечном вредношћу -0,28. Негативне вредности указују на присуство вегетације, као и присуство изграђених и урбаних површина, док позитивне вредности представљају водене површине. Добијене вредности MNDWI, за оба временска пресека, су у сагласности са описаном методологији као и са резултатима претходних истраживања (Xu, 2006; Du et al., 2016).

Валидација и оцена тачности анализе структуре земљишног покривача има есенцијални значај за утврђивање апликативности примењених техника. Према Gomez и коауторима (2016), тачност класификованих података се процењује на основу информационих параметара адекватних за заједницу корисника. С обзиром да не постоје стандардне методе за процену тачности тематских карата, најшире примењена метода је матрица конфузије или матрица грешке (Levin, 1999; Tempfli et al., 2009; Dobrota, 2018; Abdi, 2019). Применом матрице грешке идентификују се некомпатибилности између класа, као и потенцијални извори грешака. Поред тога, Olofsson и остали (2014) наводе да квантитативне метрике које су изведене из матрице грешке, као што су укупна, корисничка и продуцентска тачност, као и Карра статистика, представљају неопходне мере у валидацији. Валидација земљишног покривача на истраживаним површинама представља изазов и захтева одговарајућу методологију узорковања за статистичку процену тачности производа. Осим тога, Wulder и остали (2006), наводе да референтни подаци морају да имају довољну тачност како би се омогућила компактна валидација. Резултати приказани у табели 5.2. приказују оцену тачности класификације структуре земљишног покривача за 2001. годину. Корисничка тачност за сваку категорију земљишног покривача креће се од 70,39% за ливаде до 99,82% за водене површине. Продуцентска тачност се налази у распону од 76,65% за ливаде, до 100% за водене површине. Укупна тачност за све категорије, у првом временском пресеку (2001. година), износи 94,52%, док је Карра статистика 0,92. Према подели коју су предложили Landis и Koch (1977), Карра статистика показује да класификовани подаци имају задовољавајуће слагање са репрезентативним узорцима. Оцена тачности класификације на основу снимка из 2019. године приказана је у табели 5.3. Најнижа вредност корисничке тачности односи се на категорију ливаде (71,26%), док је највиша вредности утврђена за водене површине (99,82%). Продуцентска тачност је најмања за категорију вештачке површине (66,67%), док је максимална вредност такође забележена за водене површине (100%). Укупна тачност за све категорије износи 96,91%, док Карра статистика има вредност 0,95. Сличне вредности Карра статистике добијене су у истраживањима где је анализа структуре земљишног покривача коришћена за потребе утврђивања ерозионог статуса подручја (Žižala et al., 2018; Phinzi et al., 2020), као и за потребе управљања животном средином у урбаним подручјима (Cai et al., 2019). Овако класификоване тематске карте, на задовољавајућем нивоу тачности за оба временска пресека (Landis, Koch, 1977), коришћене су у наредним фазама израде дисертације.

Промена структуре земљишног покривача представља показатељ планских активности (пренамене које су предвиђене просторно-планским документима), стихијских (непланске активности у простору), као и природних процеса (смене и сукцесије вегетације, природно обнављање шума и сл.), што све заједно даје укупну слику трансформације простора на подручју ГУП-а. У табели 5.4., приказане су промене сваке категорије земљишног покривача за посматрани период од 2001. до 2019. године. Највеће негативне промене, односно губитак површина забележен је код пољопривредних површина и ливада, што је показатељ трансформације природних и природи блиских површина у непорозне (Radić, Gavrilović, 2020). Повећање појединих категорија земљишног покривача (позитивне промене) забележене су код урбанизованих површина (вештачки и непорозан покривач) као резултат раста броја становника и експанзије различитих урбаних функција (Слика 5.14.) (Shikangalah et al., 2016, Pribadi et al., 2018). Коришћењем матрице промене, за период 2001-2019. године, утврђено је смањење пољопривредних површина за 18,66%, које су трансформисане у вештачке површине, ливаде и жбунасту вегетацију. Истовремено, површине под ливадама, делимично су трансформисане у пољопривредне и вештачке површине. Укупан удео шумске вегетације је забележио пораст од 3,06% , док су водене површине у благом негативном губитку од 1,8% (табели 5.5). „Губитак“ водених површина представља прихватљиву грешку код даљинске детекције јер је промена уочена у зони контакта жбунасте вегетације приобаља као и у зони категорије вештачких површина.

Процена сличности и насталих промена структуре земљишног покривача, за временске пресеке 2001. и 2019. године, је обављена применом Карра статистике, односно стандардне Карра статистике, K_{Histo} и $K_{Location}$. Утврђена је промена класа земљишног покривача на значајном делу подручја ГУП-а, према стандардној Карра статистици ($K_{Carra}=0,505$), као и према $K_{Location}=0,583$. Вредност K_{Histo} износи 0,865, што указује на промену у заступљености класа за око 13%. Добијене вредности Карра показују да је у неким сегментима дошло до промене земљишног покривача (Vorsboom-van et al., 2004). Поред анализе укупне сличности и промена, извршена је и анализа за сваку посебну категорију земљишног покривача. Према табели 5.7., највеће разлике и промене су уочене на ливадама ($K_{Carra}=0,139$; $K_{Location}=0,164$; $K_{Histo}=0,846$), жбунастој вегетацији ($K_{Carra}=0,201$; $K_{Location}=0,252$; $K_{Histo}=0,796$) и пољопривредним површинама ($K_{Carra}=0,515$; $K_{Location}=0,613$; $K_{Histo}=0,840$). Умерену категорију слагања показују вештачке површине ($K_{Carra}=0,660$; $K_{Location}=0,769$; $K_{Histo}=0,858$) и шумска вегетација ($K_{Carra}=0,631$; $K_{Location}=0,641$; $K_{Histo}=0,983$). Задовољавајући степен слагања показују водене површине ($K_{Carra}=0,943$; $K_{Location}=0,952$; $K_{Histo}=0,990$), што указује на благу транзицију на нивоу од око 5% према $K_{Location}$.

6.2. Анализа интензитета ерозионих процеса као фактора деградације земљишта

Анализа је обављена за два временска пресека (2001. и 2019. година), где је један од основних показатеља стање структуре земљишног покривача у 2001. години, уз анализу климатских показатеља за период од 1971. до 2001. године. Такође, обављена је анализа стања земљишног покривача у 2019. години, уз коришћење RCP8.5 климатског сценарија који је очекиван за средину XXI века. Примењена су три ерозиона модела из групе емпиријских модела.

Метод Потенцијала ерозије (МПЕ) представља најзначајнији поступак за израду Карте ерозије, прорачун ерозионе продукције и проноса наноса у инжењерско-пројектантској и просторно-планерској пракси. Метод се користи као „инструмент“ за решавање инжењерских проблема у вези са ерозијом земљишта и бујичним токовима, за потребе водоприврених основа, студија и пројеката (Ристић и сар., 2018). Како би се метода која је настала седамдесетих година XX века применила у ГИС окружењу, коришћене су одређене корекције у складу са савременим истраживањима и применом унапређених метода даљинске детекције и испуњењем софтверских и хардверских захтева (Globenik et al., 2003; De Vente et al., 2006; Fanetti, Vezzoli,

2007; Milanesi et al., 2014). Резултати добијени обрадом података даљинске детекције верификовани су и калибрирани помоћу теренских истраживања на контролним локалитетима.

Да би се утврдила продукција ерозионог материјала применом МПЕ, примарни захтев се односи на прорачун коефицијента ерозије Z и основних улазних параметара. Коефицијент отпора земљишта на ерозију (Y) представља показатељ чија вредност зависи од геолошког и педолошког састава земљишта на истраживаном подручју. Вредности су утврђене на основу оригиналне форме МПЕ уз уважавање резултата добијених савременим истраживањима (De Vente, Poesen, 2005; Fanetti, Vezzoli, 2007; Zorn, Komac, 2008; Лазаревић, 2009). Утврђене су вредности коефицијента Y на истраживаном подручју у распону од 0,5 до 2, са просечном вредношћу од 0,72, што одговара резултатима истраживања на територији Србије (Ristić et al., 2011; Половина и сар., 2016; Ristić et al., 2017), Босне и Херцеговине (Тошић et al., 2012; Lovrić, Тошић, 2018), Северне Македоније (Минчев, 2014; Blinkov, 2015), Црне Горе (Spalević et al., 2014), Ирака (Salahalddin et al., 2016) и Ирана (Amini et al., 2014). Коефицијент уређења слива (X_a) изражава степен отпорности на деловање ерозионих процеса. Вредности X_a се налазе у распону од 0 до 0,8 са просечним вредностима 0,42 (2001. година) и 0,37 (2019. година), што одговара резултатима које су добили и други истраживачи (Globevnik et al., 2003; Fanetti, Vezzoli, 2007; Dalaris et al., 2013). Вредности коефицијента ϕ се налазе у распону од 0 до 0,4 са просечним вредностима од 0,22 (2001. година) и 0,19 (2019. година). Утврђене су просечне вредности коефицијента ерозије $Z_{2001}=0,22$ и $Z_{2019}=0,20$, што је показатељ слабе ерозије, и у складу са резултатима ранијих истраживања када је утврђена вредност $Z=0,265$ на површини од 1.320 km² (Универзитет у Београду Шумарски факултет, Институт за водопривреду Јарослав Черни, 2005).

Према новијим истраживањима, која су обављена на сливовима на територији града Београда, просечна вредност коефицијента ерозије Z износи 0,297 на површини од 1.484,55 km² (Триван, 2018). Просторна расподела коефицијента ерозије Z за 2001. годину показује распон од $Z=0,007-1,75$, са доминацијом процеса врло слабе ерозије (53,36%), затим слабе ерозије (34,25%) и средње ерозије (12,09%), док су процеси ексцесивне и јаке ерозије присутни на свега 0,29% површине истраживаног подручја. Просторна расподела вредности коефицијента ерозије Z за 2019. годину креће се у интервалу $Z=0,007-1,72$ што указује на доминацију врло слабе ерозије (61,02%), затим слабе ерозије (29,39%) и средње ерозије (9,43%), док су процеси ексцесивне и јаке ерозије присутни на свега 0,15% од укупне површине истраживаног подручја. Укупна продукција ерозионог материјала за 2001. годину износи $W_{god}=148.724,95$ m³·god⁻¹, са специфичном продукцијом $W_{godsp}=282,5$ m³·km⁻²·god⁻¹. Укупна продукција ерозионог материјала за 2019. годину износи $W_{god}=138.938,78$ m³·god⁻¹ са специфичном продукцијом $W_{godsp}=288,6$ m³·km⁻²·god⁻¹. Поређењем специфичне ерозионе продукције за 2001. и 2019. годину утврђено је повећање од 2,18%. За потребе компарације МПЕ са моделима RUSLE и G2, извршена је конверзија губитака земљишта, са m³·km⁻²·god⁻¹ у t·ha⁻¹·god⁻¹. На тај начин утврђен је губитак земљишта за 2001. годину са распоном вредности $W_{godsp}=0,019$ t·ha⁻¹·god⁻¹-73,47 t·ha⁻¹·god⁻¹ са просечном вредношћу од $W_{godsp}=3,67$ t·ha⁻¹·god⁻¹. Такође за 2019. годину утврђен је просечан губитак земљишта од $W_{godsp}=3,75$ t·ha⁻¹·god⁻¹ са распоном вредности од $W_{godsp}=0,022-82,32$ t·ha⁻¹·god⁻¹.

RUSLE представља модел за процену губитака земљишта из групе емпиријских модела, који је настао трансформацијом оригиналног USLE модела, како би се добио инструмент који функционише у ГИС окружењу и примењује се у различитим деловима света (Mitasova et al., 2013; Panagos et al., 2015a). Фактор ерозионе снаге кише (R) представља климатски фактор, који је до сада модификован у односу на бројна истраживања (Renard et al., 1997; Morgan, 2005; Naipal et al., 2015; Venavidez et al., 2018). Услед недостатка резултата мерења максималних тридесетоминутних падавина на расположивим кишомерним станицама, за прорачун су

коришћене регионалне зависности засноване на коришћењу података о средњегодишњим падавинама (Van der Knijff et al., 1999; 2000; Grimm et al., 2003; Перовић, 2015; Миљковић, 2020). Вредности фактора R за 2001. годину се налазе у распону $R=693,99-764,91 \text{ MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{god}^{-1}$, са просечном вредношћу $R=731,19 \text{ MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{god}^{-1}$. Просечна вредности добијеног фактора R одговара вредности која је репрезентативна за Европу, односно, $R=722 \text{ MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{god}^{-1}$ (Panagos et al., 2015b). Усвојена вредност фактора R за подручје ГУП-а одговара вредностима досадашњих истраживања која су спроведена у Србији (Belanović et al., 2013; Перовић, 2015; Вулевић, 2017; Радоњић, 2018).

Други временски пресек (2019. година) је анализиран коришћењем симулираних климатских услова, према RCP8.5 климатском сценарију. На тај начин утврђено је повећање просечне вредности фактора R за 10% у односу на 2001. годину, односно, $R=801,43 \text{ MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{god}^{-1}$. Фактор еродибилности земљишта (K) представља један од основних параметара потребних за процену ерозионих губитака земљишта услед деловања водне ерозије. Утврђен је распон вредности K на истраживаном подручју $K=0,033-0,07 \text{ t}\cdot\text{ha}\cdot\text{h}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{MJ}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$ са просечном вредношћу од $K=0,041 \text{ t}\cdot\text{ha}\cdot\text{h}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{MJ}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$, што је незнатно увећано у односу на репрезентативну вредност за Европску унију, односно $K=0,033 \text{ t}\cdot\text{ha}\cdot\text{h}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{MJ}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$ (Panagos et al., 2014b). Топографски фактор LS је примарни дериват дигиталног модела терена. Применом једначине Desmet и Glovers (1996) добијене су вредности топографског фактора у распону $LS=0,03-40,25$ са просечном вредношћу $LS=0,98$. У државама чланицама Европске уније, где је примењена иста једначина, добијен је распон вредности $LS=0-99$, са просечном вредношћу $LS=1,63$ (Panagos et al., 2015c). Начин коришћења земљишта има пресудну важност у заштити земљишног простора од деловања ерозионих процеса. Вредности фактора начина коришћења земљишта C, за оба временска пресека, имају распон $C=0-0,25$, са репрезентативним вредностима $C_{2001}=0,11$ и $C_{2019}=0,096$. Уочено је смањење вредности C у другом временском пресеку, што је последица рапидне експанзије урбанизованих површина, са последичном променом структуре земљишног покривача. Продукција ерозионог материјала за први временски пресек износи $A=4,44 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{god}^{-1}$, са распонем вредности $A=0-274,61 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{god}^{-1}$. Продукција ерозионог материјала за други временски пресек, узимајући у обзир климатски сценарио RCP 8.5, износи $A=4,38 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{god}^{-1}$, са распонем вредности $A=0-311,06 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{god}^{-1}$. У поређењу са земљама Европске уније где је $A=2,46 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{god}^{-1}$ (Panagos et al., 2015a), на подручју ГУП-а су забележене значајно веће вредности. У првом временском пресеку (2001. година) доминирају процеси врло слабе ерозије (77,12%), следи средња ерозија (8,76%), слаба ерозија (7,83%), јака ерозија (5,79%) и ексцесивна ерозија (0,49%). У другом временском пресеку (2019. година) такође доминирају процеси врло слабе ерозије (77,84%), затим слабе ерозије (8,35%), средње ерозије (8,06%), јаке ерозије (4,61%) и ексцесивне ерозије (1,14%).

Модел G2 је трећи модел који је коришћен за потребе израде ове дисертације, а по времену настанка (2012. година) припада групи „млађих“ модела. Настао је обједињавањем делова модела RUSLE и МПЕ, као и додатних параметара који се добијају применом алгорита на сателитским снимцима. Иако је релативно „млад“, успешно је примењен на подручјима Балканског и Апенинског полуострва (Panagos et al., 2012; Karydas et al., 2015; Zdruli et al., 2016; Karydas et al., 2020; Polovina et al., 2021), на подручју Пољске (Halecki et al., 2018) и Турске (Artun et al., 2017). Фактор ерозионе снаге кише R и фактор еродибилности земљишта K рачунају се према методологији за RUSLE. Фактор вегетационе ретенције (V) је најкомплекснији фактор у овом моделу који изражава утицај структуре земљишног покривача, посебно вегетационог, на потенцијал заштите од деловања ерозионих процеса. Вредности V фактора су добијене обрадом сателитских снимака, за оба временска пресека (2001. и 2019. година). Вредности вегетационог фактора ретенције за први временски пресек (2001. година), се налазе у распону од $V=1-3.079,34$ са просечном вредношћу $V=32,83$. Вредности вегетационог фактора ретенције за други временски пресек (2019. година) се налазе у распону

од $V=1-3.547,43$ са просечном вредношћу $V=39,76$ што је раст од око 21% у односу на први временски пресек. Добијене просечне вредности фактора V су у сагласју са раније изведеним истраживањима: према Panagos и ауторима (2013) просечна вредност фактора V за острво Крит износи $V_{sr}= 47,6$. Фактор топографског утицаја (T) изражава ефекат карактеристика рељефа (Karydas, Panagos, 2018), а добија се применом једначине Moore и Burch (1986a) на дигиталном моделу терена. Вредности T фактора се налазе у распону од $T=0,01-45,5$ са просечном вредношћу $T=1,34$. Добијене вредности фактора T на подручју ГУП-а, се налазе у опсегу вредности добијених претходним истраживањима (Panagos et al., 2012; Karydas et al., 2015; Zdruli et al., 2016; Karydas et al., 2020). Фактор ефекта предеоног обрасца L изражава потенцијал анализираних подручја за резистентност на деловање ерозионих процеса. Фактор L је примарни дериват спектралног канала, из блиског инфрацрвеног дела спектра, и има вредности у интервалу $L=1-2$ (Karydas, Panagos, 2018). Просечна вредност за први временски пресек износи $L=1,22$, док је за други временски пресек $L=1,29$, што је у сагласју са резултатима претходних истраживања (Panagos et al., 2012; Karydas et al., 2015; Artun et al., 2017; Halecki et al., 2018; Zdruli et al., 2016; Karydas et al., 2020). Просечна вредност губитака земљишта, применом модела $G2$, за први временски пресек, износи $E=4,11 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{god}^{-1}$, са распонем вредности $E=0-200,86 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{god}^{-1}$. Просечна вредност губитака земљишта, применом модела $G2$, за други временски пресек, износи $E=3,63 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{god}^{-1}$, са распонем вредности $E=0-193,11 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{god}^{-1}$, што је у сагласју са резултатима претходних истраживања. Веће вредности губитака земљишта добијене су за подручје острва Крит, $E=8,12 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{god}^{-1}$ (Panagos et al., 2014a), затим за подручја Кипра, $E=11,75 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{god}^{-1}$ (Karydas et al., 2016), као и у Бугарској $E=8,75 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{god}^{-1}$ (Panagos et al., 2012). Просечан губитак земљишта на сливовима у Албанији се креће у распону $E=6,5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{god}^{-1}$ (Karydas et al., 2015) до $E=10,25 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{god}^{-1}$ (Zdruli et al., 2016), у Италији (на мањем сливу) је забележен просечан губитак земљишта $E=0,87 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{god}^{-1}$ (Karydas et al., 2020), док је на сливу у Турској прорачунат губитак $E=2,5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{god}^{-1}$ (Artun et al., 2017). Прорачун губитака земљишта на подручју ГУП-а, применом модела $G2$, за оба временска пресека (2001. и 2019. година), показао је смањење за 11,68% у другом временском пресеку. На истраживаном подручју, у првом временском пресеку (2001. година), доминира врло слаба ерозија (72,16%), затим слаба ерозија (12,13%), средња ерозија (11%), јака ерозија (4,45%) и ексцесивна ерозија (0,26%). У другом временском пресеку доминира врло слаба ерозија (74,80%), затим слаба ерозија (12,20%), следи средња ерозија (9,39%), јака ерозија (3,40%) и ексцесивна ерозија (0,20%).

6.3. Компаративна анализа израчунатих вредности интензитета ерозионих процеса као фактора деградације земљишта

За потребе утврђивања узајамних веза између улазних параметра и утицаја на продукцију ерозионог материјала, примењене су просторне корелације и регресије за сва три ерозиона модела, у односу на оба временска пресека (2001. и 2019. година). Просторна корелација између улазних параметара за прорачун у МПЕ (табеле 5.18. и 5.21.), приказује да је одлучујући фактор, за висину вредности ерозионе продукције, коефицијент ерозије Z . Коефицијент ерозије Z представља најважнији параметар и почетни корак приликом прорачуна продукције ерозионог материјала (Gavrilović, 1972; Вучићевић, 1995; Костадинов, 2008; Ристић, 2018). Коефицијент ерозије Z је квантитативни показатељ садејства свих улазних параметара од којих, сваки на свој начин, утиче на генезу и интензитет ерозионих процеса. Такође, применом просторне корелације, утврђен је значајан утицај коефицијента уређења слива X -а, на продукцију ерозионог материјала. Коефицијент X -а „описује“ значај земљишног покривача за „заштићеност“ земљишта од утицаја атмосферских чинилаца и деловања ерозионих процеса. Просторна корелација између улазних параметара за прорачун у RUSLE моделу (табеле 5.19. и 5.22.), приказује да је одлучујући фактор, за висину вредности ерозионе продукције, коефицијент топографског фактора LS као и фактор начина коришћења земљишта C . Слични закључци су изведени на основу претходних истраживања за подручје града Ниша

(Perović et al., 2016), као и слива акумулације Првонек (Перовић, 2015). Просторна корелација између улазних параметара за прорачун у моделу G2 (табеле 5.20. и 5.23.), приказује да је одлучујући фактор, за висину вредности ерозионе продукције, топографски фактор Т, затим фактор ерозионе снаге кише R. Сумарно, за сва три модела (МПЕ, RUSLE, G2), за оба временска пресека (2001. и 2019. година), може се констатовати да одлучујући утицај на висину вредности ерозионе продукције, имају фактори који се односе на структуру земљишног покривача и карактеристике рељефа, што је потврђено ранијим истраживањима (Farhan, Nawaiseh, 2015; Bhattacharya et al., 2020).

Поређење коришћених модела у односу на просторну стратификацију, односно на нивоу просторних целина као што су градске општине, катастарске општине или просторне зоне дефинисане генералним урбанистичким планом, обављено је на основу добијених просечних вредности губитака земљишта, за оба временска пресека. Применом МПЕ, за посматрани период, просечна вредност губитака земљишта повећала се на подручју Сурчина (+0,37 t·ha⁻¹·god⁻¹), Земуна (+0,28 t·ha⁻¹·god⁻¹), Чукарице (+0,15 t·ha⁻¹·god⁻¹), Новог Београда (+0,14 t·ha⁻¹·god⁻¹), Палилуле (+0,12 t·ha⁻¹·god⁻¹) (Табела А.1.1. у Прилогу А). Смањење просечне вредности губитака земљишта забележено је на општини Раковица (-0,68 t·ha⁻¹·god⁻¹) (Прилог Б, Слика Б.1.1.). Применом RUSLE, за посматрани период, просечна вредност губитака земљишта, повећала се на подручју градских општина Вождовац (+0,33 t·ha⁻¹·god⁻¹), затим Гроцка (+0,154 t·ha⁻¹·god⁻¹) и Земун (+0,067 t·ha⁻¹·god⁻¹) (Табела А.1.2. у Прилогу А). Смањење просечне вредности губитака земљишта забележено је на подручјима градски општина Раковица (-1,411 t·ha⁻¹·god⁻¹), Звездара (-0,827 t·ha⁻¹·god⁻¹) и Палилула (-0,075 t·ha⁻¹·god⁻¹) (Прилог Б, Слика Б.1.2.). Применом модела G2, за посматрани период, просечна вредност губитака земљишта повећала се једино на подручју Новог Београда, док је на подручјима осталих градских општина забележено смањење продукције ерозионог материјала (Табела А.1.3. у Прилогу А). Највеће смањење је регистровано на територијима градских општина Раковица (-1,264 t·ha⁻¹·god⁻¹) и Звездара (-0,914 t·ha⁻¹·god⁻¹) (Прилог Б, Слика Б.1.3.). Промене продукције ерозионог материјала, за сва три ерозиона модела, у односу на посматране временске пресеке (2001. и 2019. година), анализирани су и на нивоу катастарских општина (КО), које се налазе у целини или делом у границама ГУП-а. Применом МПЕ, највећи просечни губици земљишта забележени су на КО Умка (+1,330 t·ha⁻¹·god⁻¹), КО Зуце (+1,237 t·ha⁻¹·god⁻¹), КО Ковилово (+0,763 t·ha⁻¹·god⁻¹) (Табела А.2.1. у Прилогу А). Смањење је забележено на подручјима КО Стара Раковица (- 2,046 t·ha⁻¹·god⁻¹), КО Вождовац (- 2,039 t·ha⁻¹·god⁻¹) и КО Раковица село (- 1,917 t·ha⁻¹·god⁻¹) (Прилог Б, Слика Б.2.1.). Применом модела RUSLE, највећи просечни губици земљишта забележени су на КО Палилула (+2,56 t·ha⁻¹·god⁻¹), КО Зуце (+2,06 t·ha⁻¹·god⁻¹) и КО Умка (+1,99 t·ha⁻¹·god⁻¹) (Табела А.2.2. у Прилогу А). Смањење је забележено на подручјима КО Вождовац (-3,09 t·ha⁻¹·god⁻¹), КО Миријево (-2,41 t·ha⁻¹·god⁻¹), КО Болеч (-2,41 t·ha⁻¹·god⁻¹), КО Раковица село (-2,36 t·ha⁻¹·god⁻¹) и КО Кнежевац (+1,99 t·ha⁻¹·god⁻¹) (Прилог Б, Слика Б.2.2.). Применом модела G2, највећи просечни губици земљишта забележени су на КО Палилула (+4,73 t·ha⁻¹·god⁻¹) и КО Велики Мокри Луг (+1,356 t·ha⁻¹·god⁻¹) (Табела А.2.3. у Прилогу А). Смањење је забележено на подручјима КО Сланци (- 3,028 t·ha⁻¹·god⁻¹) и КО Миријево (-2,374 t·ha⁻¹·god⁻¹) (Прилог Б, Слика Б.2.3.).

Продукција ерозионог материјала и губици земљишта су анализирани и у односу на просторне зоне, дефинисане ГУП-ом. Применом МПЕ, повећана просечна продукција је забележена у периферној зони (+0,12 t·ha⁻¹·god⁻¹), док је смањење продукције ерозионог материјала регистровано у централној (-0,82 t·ha⁻¹·god⁻¹) и средњој зони (-0,55 t·ha⁻¹·god⁻¹) (Табела А.3.1. у Прилогу А и Слика Б.3.1. у прилогу Б). Применом модела RUSLE, повећана просечна продукција је забележена у централној зони (+0,17 t·ha⁻¹·god⁻¹), док је смањење продукције ерозионог материјала забележено у средњој (-0,94 t·ha⁻¹·god⁻¹) и периферној зони (-0,01 t·ha⁻¹·god⁻¹) (Табела А.3.2. у Прилогу А и Слика Б.3.2. у прилогу Б). Применом модела G2 идентификована је повећана продукција ерозионог материјала у централној зони (+0,28 t·ha⁻¹·god⁻¹).

$^1 \cdot \text{god}^{-1}$), док је смањење продукције ерозионог материјала забележено у средњој ($-0,53 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{god}^{-1}$) и периферној зони ($-0,47 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{god}^{-1}$) (Табела А.3.3. у Прилогу А и Слика Б.3.3. у прилогу Б). Раст вредности ерозионе продукције је последица повећања непорозних и урбанизованих површина, које представљају катализаторе појаве бујичних и урбаних поплава. Поред тога, имају велики утицај на погоршање квалитета животне средине, услед: појачања ефекта „топлотног острва“, значајног потенцијала за генерисање брзог површинског отицаја и повећане мобилности полутаната.

Такође, обављена је компарација примењених ерозионих модела, у смислу прорачуна губитака земљишта на површинама које, према планским решењима ГУП-а до 2021. године, имају повећан степен порозности (шумске, пољопривредне и ливадске површине), у симулираним климатским условима према сценарију RCP8.5 (Ђурђевић и сар., 2018). Коришћени климатски сценарио описује услове у којима се одиграва сталан раст емисије гасова са ефектом стаклене баште, за будући период средине XXI века (2046-2065 године).

Применом линеарне регресије између МПЕ и RUSLE, на планираном пољопривредном земљишту, добијен је коефицијент корелације $R=0,59$, са коефицијентом детерминације $R^2=0,35$, што показује средњи степен повезаности променљивих. Применом линеарне регресије између МПЕ и G2 модела, на планираном пољопривредном земљишту, добијен је коефицијент корелације $R=0,44$, са коефицијентом детерминације од $R^2=0,20$, што показује незнатну повезаност променљивих. Применом линеарне регресије између модела RUSLE и G2, на планираном пољопривредном земљишту, утврђена је јака повезаност са коефицијентом корелације $R=0,78$ и коефицијентом детерминације од $R^2=0,61$.

Применом линеарне регресије између МПЕ и RUSLE, на планираним зеленим површинама, уочава се значајна корелациона веза $R=0,64$, са коефицијентом детерминације $R^2=0,40$. Применом линеарне регресије између МПЕ и G2, нису регистроване сигнификантне корелационе везе на планираним зеленим површинама. Применом линеарне регресије између RUSLE и G2 уочава се значајна корелациона веза $R=0,69$ са коефицијентом детерминације од $R^2=0,49$.

Примена линеарне регресије између МПЕ и RUSLE, на планираним шумским површинама и шумском земљишту, указује на значајну корелациону везу $R=0,68$, са коефицијентом детерминације $R^2=0,47$. Применом линеарне регресије између МПЕ и G2 нису регистроване сигнификантне корелационе везе на планираним шумским површинама, односно на шумском земљишту. Примена линеарне регресије између RUSLE и G2 указује на значајну корелациону везу $R=0,68$, са коефицијентом детерминације $R^2=0,48$.

Примена линеарне регресије између МПЕ и RUSLE на планираним наменама, које су категорисане под „остале зелене површине“, указује на значајну корелациону везу $R=0,66$, са коефицијентом детерминације $R^2=0,44$. Примена линеарне регресије између МПЕ и G2, у односу на „остале зелене површине“, показала је слабу или никакву корелациону везу. Примена линеарне регресије између RUSLE и G2, указује на јаку корелациону везу $R=0,73$, са коефицијентом детерминације $R^2=0,53$.

Примена линеарне регресије између МПЕ и RUSLE, у односу на планирану намену „посебан режим“, указује на јаку корелациону везу $R=0,73$, са коефицијентом детерминације $R^2=0,53$. Примена линеарне регресије између МПЕ и G2, указује на слабу корелациону везу $R=0,54$, са коефицијентом детерминације $R^2=0,29$. Примена линеарне регресије између RUSLE и G2, указује на јаку корелациону везу $R=0,76$, са коефицијентом детерминације $R^2=0,58$.

Резултати примене сва три модела, у циљу квантификације интензитета ерозионих процеса на подручју Генералног урбанистичког плана Београда, указују на висок степен корелације између МПЕ и RUSLE. Модел G2 представља релативно „млад“ модел, који је настао као хибридна модификација прва два модела, услед чега је неопходно обавити додатна истраживања ради калибрације улазних параметара и валидације резултата, што је у случају модела МПЕ и RUSLE урађено на великом броју истраживаних локалитета у претходних неколико деценија.

* * *

Ерозија земљишта представља један од најприсутнијих еколошких проблема данашњице, са наглашено негативним ефектима, пре свега, на земљишне ресурсе, затим водне ресурсе али и читаве екосистеме. Поред губитака земљишта, ерозиони процеси утичу на повећану мобилност полутаната, засипање водних тела, еутрофикацију и губитак биодиверзитета (Onyando et al., 2005). Минимизирање наведених негативних ефеката могуће је остварити применом одговарајуће праксе за контролу ерозионих процеса, у чему је израда Карте ерозије један од почетних корака, јер садржи јасан преглед просторне дистрибуције и интензитета ерозионих процеса. После тога могуће је веродостојно конципирати План за проглашење ерозионих подручја, затим адекватне мере противерозионе заштите и конзервације земљишних ресурса. Примена ГИС-а и даљинске детекције, као и моделирање ерозионих процеса, представљају моћна средства у брзој и прецизној дијагностици проблема. На тај начин се креирају базе података које су компатибилне са хијерархијски вишим и нижим базама података, чиме се формира интегрални информациони основ за анализу проблематике стања животне средине (Li et al., 2006; Rahman et al., 2009). Обрађивачи и учесници у изради планских докумената често наилазе на проблем неадекватног сагледавања ризика од интензивирања ерозије земљишта, услед непостојања јединствене базе података о ерозионим процесима, тј. Карте ерозије земљишта. Идентификација зона хазарда и процена ризика, обухвата валоризацију критичних просторних ентитета и подручја, који појединачно или кумулативно, представљају изворишне зоне интензивне продукције ерозионог материјала и генезе брзог површинског отицаја, односно бујичних поплава. Један од значајних недостатака у покушају целовитог сагледавања проблематике ерозије земљишта јесте и неразвијена методологија моделирања ерозионих процеса, посебно у специфичним условима урбаних предела, у контексту интензивних модификација структуре земљишта и изражених климатских флукуација.

7. ЗАКЉУЧАК

Ерозија земљишта представља озбиљан еколошки проблем, као природан и антропогено убрзан процес, са потенцијалом да трајно угрози пољопривредну производњу и квалитет свих сегмената животне средине. Као део природног геоморфолошког процеса, ерозија земљишта оставља „трагове” на глобалном нивоу, што се огледа најексплицитније кроз губитак фертилног слоја земљишта, смањење обима пољопривредне производње, транспорт полутаната који су везани за честице земљишта, загађење подземних и површинских вода, угрожавање водоснабдевања и значајно увећаног потенцијала за појаву екстремно деструктивних бујичних поплава. Први корак у делотворној контроли ерозионих процеса јесте креирање веродостојних база података и пратећих подлога уз примену савремених технологија за детекцију проблема, обраду података и израду модела, чији би репрезентативан показатељ требало да буде Карта ерозије. Следећи корак јесте израда Плана за проглашење ерозионих подручја и концепта примене противерозионих мера и радова, у контексту примене биолошких, биотехничких и техничких радова, као и административно-организационих мера. Овакав приступ захтева детаљне просторне анализе засноване на примени ГИС-а, даљинске детекције и посебно моделирања ерозионих процеса у циљу процене ерозионе продукције и проноса наноса. Једна од основних комплементарних активности јесу теренски истражни радови на контролним површинама на којима су присутни изражени деградациони процеси, у циљу калибрације улазних параметара и валидације односно, утврђивања степена тачности добијених резултата. Геобазе које се креирају на овај начин представљају употребљиве колекције података које се могу користити у даљим анализама основних медијума животне средине, у циљу креирања холистичког приступа. Само на овај начин могуће је проблем ерозије земљишта и генезе брзог површинског отицаја интегрисати у стратешке, планске и техничке документе који се односе на области редукације потенцијала за појаву природних катастрофа, у политике одрживог коришћења простора и складан развој урбаних агломерација.

Сталним растом броја становника градови постају динамични системи који на инвазиван начин делују на своје окружење, пре свега, кроз промену структуре земљишног покривача, а нарочито губитак пољопривредних, шумских и других природи блиских површина. Поред тога, ширење урбанизованих површина и повећање степена насељености доводи до све израженијег загађења ваздуха, површинских и подземних вода, земљишта, појачавања ефекта „топлотног острва“, губитка биодиверзитета, што све заједно утиче на погоршање статуса животне средине и нужно утиче на увећање ризика за здравље становништва.

Репрезентативан пример оваквог просторног система је подручје урбаног предела Београда, односно територије за коју је израђен Генерални урбанистички план (ГУП), на површини од 778,54 km², чији је један од темеља следећи став: „очување земљишта погодног за пољопривреду, природних вредности и животне средине урбане целине, уз уважавање потенцијала и ограничења суседних насеља и региона.“

Поштовање наведених постулата ГУП-а могуће је, између осталог, кроз стварање веродостојних база података о актуелном и очекиваном обиму различитих ерозионих процеса. За потребе израде ове докторске дисертације, квантификација интензитета ерозионих процеса је обављена за два временска пресека (2001. и 2019. годину), ради утврђивања тренда промена ерозионог статуса у оквиру још увек важећег ГУП-а. Примењена су три модела за процену интензитета ерозионих процеса: Метод Потенцијала ерозије (МПЕ), Ревидирана универзалана једначина за прорачун губитака земљишта (Revised Universal Soil Loss Equation–RUSLE) и Geoland 2 (G2). Анализа ерозионог статуса за први временски пресек (2001. година) је обављена на основу климатских карактеристика, репрезентативних за период од 1971. до 2001. године, које су детерминисане обрадом података мерења са меродавних метеоролошких станица. Анализа ерозионог статуса за други временски пресек (2019. година) је обављена на

основу симулације климатских параметара применом RCP8.5 климатског сценарија (сталан пораст емисије гасова са ефектом стаклене баште, за период блиске будућности 2046-2065 година). У циљу добијања поузданих и тачних података о структури земљишног покривача, у оба временска пресека, коришћени су подаци добијени обрадом сателитских снимка из Landsat сателитске мисије, кроз примену методе надзиране класификације, односно Random Forest методом машинског учења. На основу обављеног истраживања, могу се издвојити следећи закључци:

- Применом МПЕ за први временски пресек (2001. година), утврђена је просечна вредност коефицијента ерозије $Z=0,22$, што је одлика категорије слабе ерозије. Вредност просечне годишње ерозионе продукције износи $W_{god}=148.724,95 \text{ m}^3 \cdot \text{god}^{-1}$, док је специфична продукција $W_{godsp}=282,5 \text{ m}^3 \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{god}^{-1}$. Примена МПЕ за други временски пресек (2019. година) показала је просечну вредност коефицијента ерозије $Z=0,20$ (гранична вредност између категорија врло слабе и слабе ерозије). Вредност просечне годишње ерозионе продукције за други временски пресек (2019. година) износи $W_{god}=138.938,78 \text{ m}^3 \cdot \text{god}^{-1}$, са специфичном продукцијом од $W_{godsp}=288,6 \text{ m}^3 \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{god}^{-1}$. Конверзијом вредности из $\text{m}^3 \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{god}^{-1}$ у $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{god}^{-1}$, за први временски пресек (2001. година) добијена је специфична вредност ерозионе продукције $W_{godsp}=3,67 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{god}^{-1}$, док је за други временски пресек (2019. година) добијена вредност $W_{godsp}=3,75 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{god}^{-1}$. Поређењем вредности специфичне ерозионе продукције применом МПЕ, за оба временска пресека утврђено је повећање од 2,18% у другом временском пресеку (2019. година).
- Применом модела RUSLE, за први временски пресек (2001. година), утврђена је вредност специфичних ерозионих губитака земљишта $A_{sp}=4,44 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{god}^{-1}$. Применом модела RUSLE за други временски пресек (2019. година), према климатском сценарију RCP8.5, утврђена је вредност специфичних губитка земљишта $A_{sp}=4,38 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{god}^{-1}$, односно смањење за 1,35%.
- Применом модела G2, за први временски пресек (2001. година), утврђена је вредност специфичних ерозионих губитака земљишта $E_{sp}=4,11 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{god}^{-1}$. Применом модела G2 за други временски пресек (2019. година), према климатском сценарију RCP8.5, утврђена је вредност специфичних губитка земљишта $E_{sp}=3,63 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{god}^{-1}$, што показује смањење од 11,68%.

На основу изнетих закључака потврђена је постављена хипотеза да *апликација савремених ерозионих модела омогућује анализу различитих сценарија промена ерозионе продукције у урбаним подручјима*. Компаративном анализом, утврђено је повећање губитака од 2,18% применом МПЕ модела за други временски пресек (2019. година), док је применом модела RUSLE и G2 утврђено смањење од 1,35% односно 11,68%. Ова је последица чињенице да се модел МПЕ у српској истраживачкој и инжењерској пракси успешно примењује готово шест деценија, како у руралним тако и урбаним условима. Модел RUSLE се користи у последњих десетак година, али углавном у руралним подручјима, док се модел G2 у Србији није користио. Сходно томе неопходна су додатна истраживања и коришћење модела RUSLE и G2, уз калибрацију улазних параметара и валидацију добијених резултата.

Применом просторне корелације и регресије, утврђен је утицај појединих улазних параметара на вредности продукције ерозионог материјала, за све примењене ерозионе моделе. Највећи утицај на висину вредности продукције ерозионог материјала имају фактори који се односе на земљишни покривач и карактеристике рељефа. С обзиром да су параметри рељефа на размери ГУП-а стални, неопходно је унапредити модалитете прецизне идентификације класа земљишног покривача, где су могуће брзе и видљиве промене. На основу наведених закључака, потврђена је хипотеза да *одређени сегменти урбаних подручја са собом носе повећан степен хазарда од појаве ерозионих процеса*.

У одређеним просторним целинама и зонама ГУП-а дошло је до другачије расподеле просечних губитака земљишта и продукције наноса, услед повећања непорозних и урбанизованих површина. Ове површине нису изложене потенцијалном хазарду од деловања интензивне плувијалне ерозије, али представљају генератор за формирање брзог површинског отицаја, бујичних и урбаних поплава. Поред тога, директно утичу на појачање ефекта „топотног острва“, деградацију фертилног слоја земљишта и смањење плодности услед губитка органске материје.

Применом статистичких зависности и компарација, између ерозионих модела и добијених вредности губитака земљишта, у складу са планираним наменама површина које имају већи степен порозности, за други временски пресек (2019. година) може се закључити:

- Применом линеарних регресија између модела МПЕ и RUSLE, као и RUSLE и G2, утврђена је статистичка зависност за све посматране планиране намене површина са већим степеном порозности. Компарација МПЕ и G2 није показала значајну статистичку зависност.
- Постављена хипотеза *„Просторна идентификација и квантификација ерозионих процеса може да укаже на осетљиве сегменте урбаних подручја којима треба приступити на адекватан плански, уређивачки и пројектантски начин“*, потврђена је кроз компарацију вредности које су добијене применом ерозионих модела.
- Ерозионе моделе МПЕ, RUSLE и G2 могуће је применити на вишим и нижим просторним нивоима од предметног ГУП-а, како би се стандардизовала њихова употреба за различите просторно планске, стратешке и техничке документе.

Научни допринос ове дисертације се огледа у методологији која је развијена за моделирање ерозионих процеса у ГИС окружењу, посебно у урбаном окружењу, уз анализу различитих перспектива промене структуре површина и измењених климатских услова. Будућа истраживања се односе на модалитете формирања интегралних база података о ерозионим процесима уз детерминисање процедура стандардизације и хармонизације улазних података.

8. ЛИТЕРАТУРА

1. Abbott M.B., Bathurst J.C., Cunge J.A., O'Connell P.E., Rasmussen J. (1986): *An introduction to the European Hydrological System—Systeme Hydrologique Europeen 'SHE' 1: History and philosophy of a physically-based, distributed modelling system*. J. Hydrol. 1986, 87, 45–59.
2. Abdi M.A. (2019): *Land cover and land use classification performance of machine learning algorithms in a boreal landscape using Sentinel-2 data*, GIScience & Remote Sensing, DOI: 10.1080/15481603.2019.1650447
3. Adamec R.E. (1976): *The interaction of hunger and preying in the domestic cat (felis catus): An adaptive hierarchy?* Behav. Biol. 1976, 18, 263–272.
4. Adamović Ž., Ivić M., Vuković V. (2007): *Metodologija i tehnologija izrade naučnih radova, prvo izdanje*. Univerzitet za poslovni inženjering i menadžment Banja Luka, ISBN 978-99955-40-34-0
5. Adornado H. A., Yoshida M., Apolinar H (2009): *Erosion Vulnerability Assessment in REINA, Quezon Province, Philippines with Raster-based Tool Built within GIS Environment*. Agricultural Information Research, 18(1), 24–31. <http://doi.org/10.3173/air.18.24>.
6. Ahmadi H. (1995): *Applied geomorphology-water erosion*. vol.1.Tehran, Iran: Tehran University Press.
7. Ahmed A., Adil D., Hasna B., Elbachir A., Lazaar R. (2019): *Using EPM Model and GIS for Estimation of Soil Erosion in Souss Basin, Morocco*, Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology, 7(8): 1228-1232, 2019 DOI: <https://doi.org/10.24925/turjaf.v7i8.1228-1232.2562>
8. Alam A., Bhat M.S., Maheen M. (2019): *Using Landsat satellite data for assessing the land use and land cover change in Kashmir valley*. GeoJournal. 85, 1529–1543 <https://doi.org/10.1007/s10708-019-10037-x>
9. Amini H., Honarjoo N., Jalaliyan A., Khalilizadeh M., Baharlouie J. (2014): *A comparison of EPM AND WEPP models for estimating soil erosion of Marmeh watershed in the South Iran*, Agriculture & Forestry, Vol. 60 Issue 4: 299-315, 2014, Podgorica
10. Antonović G., Živanović Ž., Bogdanović M., Čorović R., Trifunović M. (1976): *Zemljišta jugoistočnog Srema*. Grad Beograd – Gradska geodetska uprava. Beograd.
11. Antonović G., Živanović Ž., Bogdanović M., Čorović R., Trifunović M. (1978): *Zemljišta područja Beograda južno od Save i Dunava*. Grad Beograd – Gradska geodetska uprava
12. Arabameri A., Pradhan B., Pourghasemi H.R., Rezaei K., Kerle N. (2018): *Spatial modelling of gully erosion using GIS and R programing: A comparison among three data mining algorithms*, Applied Sciences, 8 (8): 1369,
13. Arino O., Bicheron P., Achard F., Latham J., Witt R., Weber J.L. (2008): *GlobCover: the most detailed portrait of Earth*. Eur Space Agency 136:25–31
14. Arnold J.G., Allen P.M., Bernhardt G. (1993): *A comprehensive surface-groundwater flow model*. J. Hydrol. 1993, 142, 47–69.
15. Arthur-Hartranft S.T., Carlson T.N., Clarke, K.C. (2003): *Satellite and ground-based microclimate and hydrologic analyses coupled with a regional urban growth model*. – Rem. Sens. Environ. 86: 385–400.
16. Artun O., Dinc A.O., Satir O. (2017): *Estimation of soil losses using various soil erosion models in a sample plot in Mediterranean part of Turkey*. Fresenius Environmental Bulletin, 26 (5), 3385-3394.
17. Ayalew D.A., Deumlich D., Šarapatka B., Doktor D. (2020): *Quantifying the Sensitivity of NDVI-Based C Factor Estimation and Potential Soil Erosion Prediction using Spaceborne Earth Observation Data*. Remote Sens. 2020, 12, 1136.
18. Balamurugan G., Lumpur K. (1991): *Sediment balance and delivery in a humid tropical urban river basin: The Kelang River, Malaysia*. Catena, 18, 271-287.

19. Bao C., Fang C. (2012): *Water resources flows related to urbanization in China: Challenges and perspectives for water management and urban development*. *Water Resour. Manag.* 26, 531–552.
20. Baret F., Weiss M., Verger A., Smets B. (2013): *ATBD for LAI, FAPAR and FCover FROM PROBA-V PRODUCTS AT 300M RESOLUTION (GEOV3)*, Implementing Multi-scale Agricultural Indicators Exploiting Sentinels, EC Proposal Reference N° FP7-311766
21. Bartholome E., Belward A.S. (2005): *GLC2000: a new approach to global land cover mapping from Earth observation data*. *International Journal of Remote Sensing.* 26(9):1959–1977. doi: 10.1080/01431160412331291297
22. Bathurst J.C., Kilsby C., White S., Brandt C.J., Thornes J.B. (1996): *Modelling the Impacts of Climate and Land-Use Change on Basin Hydrology and Soil Erosion in Mediterranean Europe*. In *Mediterranean Desertification and Land Use*; JohnWiley & Sons Ltd.: Chichester, UK, 1996; pp. 355–387.
23. Bazzoffi P., Pellegrini S., Rocchini A., Morandi M., Grasselli O. (1998): *The effect of urban refuse compost and different tractor tyres on soil physical properties, soil erosion and maize yield*. *Soil & Tillage Research*, 48, 275–286.
24. Beasley D.B., Huggins L.F., Monke E.J. (1980): *ANSWERS: A Model for Watershed Planning*. *Trans. ASAE* 1980, 23, 938–944.
25. Beck M.B. (1987): *Water quality modeling: A review of the analysis of uncertainty*. *Water Resour. Res.* 1987, 23, 1393–1442.
26. Belanović S., Perović V., Vidojević D., Kostadinov S., Knežević M., Kadović R., Košanin O. (2013): *Assessment of soil erosion intensity in Kolubara district, Serbia*, *Fresenius Environmental Bulletin*, Vol 22; No. 5.
27. Belgiu M., Dragut L. (2016): *Random forest in remote sensing: A review of applications and future directions*, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 114, 24–31.
28. Benavidez R., Jackson B., Maxwell D., Norton K. (2018): *A review of the (Revised) Universal Soil Loss Equation (R/USLE): with a view to increasing its global applicability and improving soil loss estimates*, *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, <https://doi.org/10.5194/hess-2018-68>.
29. Bennett H.H. (1939): *Soil conservation*. New York: McGraw-Hill BookCo.
30. Bennett J.P. (1974): *Concepts of mathematical modeling of sediment yield*. *Water Resour. Res.* 1974, 10, 485–492.
31. Bergsma E. (1986): *Aspects of mapping units in the rain erosion hazard catchment survey*. In: Siderius (Ed.), *Land Evaluation for Land-use Planning and Conservation in Sloping Areas*. ILRI, The Netherlands, pp. 84–105.
32. Beven K.J., Kirkby M.J. (1979): *A physically based, variable contributing area model of basin hydrology*. *Hydrol. Sci. Bull.* 1979, 24, 43–69.
33. Bhattacharya R.K., Das Chatterjee N. Das K. (2020): *Land use and Land Cover change and its resultant erosion susceptible level: an appraisal using RUSLE and Logistic Regression in a tropical plateau basin of West Bengal, India*. *Environ Dev Sustain* (2020). <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00628-x>
34. Blinkov I. (2015): *Review and comparison of water erosion intensity in the western Balkan and EU countries*, Прилози, Одделение за природно-математички и биотехнички науки, МАНУ, том 36, бр. 1, стр. 27–42.
35. Blöschl G. (1999): *Scaling issues in snow hydrology*. *Hydrological Processes* 13: 2149–2175.
36. Bonham-Carter G.F. (1994): *Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS*, Pergamon Press, Tarrytown, New York, 398 pp.
37. Booth D.B., Henshaw P.C. (2001): *Rates of channel erosion in small urban streams*. *Water Science and Application*, 1-21. doi:10.1029/WS002p0017
38. Borrelli P., Robinson D.A., Panagos P., Lugato E., Yang J.E., Alewell C., Wuepper D., Montanarella L., Ballabio C. (2020): *Land use and climate change impacts on global soil*

- erosion by water (2015-2070)*. Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS), 117(36), 21994–22001; doi: 10.1073/pnas.2001403117
39. Borsboom-van Beurden J.A.M., De Jong K., De Niet R., De Nijs A.C.M., Hagen A., Klein Goldewijk C.G.M., Verburg P., Visser H. (2004): *The MAP COMPARISON KIT: methods, software and applications*, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu RIVM RIVM report 550002005/2004
 40. Borselli L., Torri D., Poesen J., Iaquina P. (2012): *A robust algorithm for estimating soil erodibility in different climates*. Catena 97, 85–94.
 41. Breiman L. (2001): *Random forest*. Mach. Learn. 45.
 42. Brockherhoff M.P. (2000): *An urbanizing world*. Population Bulletin 55 (3), 3–44.
 43. Brovelli M.A., Fahl F. C., Minghini M., Molinari M.E. (2016): *Land user and Land Cover maps of Europe: A WebGIS platform*, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLI-B7, 2016 XXIII ISPRS Congress, 12–19 July 2016, Prague, Czech Republic
 44. Browning G. M., Parish C. L., Glass J.A. (1947): *A method for determining the use and limitation of rotation and conservation practices in control of soil erosion in Iowa*. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 23: 246-249.
 45. Burley T. M. (1961): *Land use or land utilization?* Professional Geographer, 14(5), 18–20.
 46. Burns D., Vitvar T., McDonnell J., Hassett J., Duncan J. Kendall C. (2005): *Effects of suburban development on runoff generation in the Croton River basin, New York, USA*. Journal of Hydrology. 311: 266–281.
 47. Burns I.S., Scott S., Levick L., Hernandez M., Goodrich D.C., Miller S.N., Semmens D.J., Kepner W.G. (2004): *Automated Geospatial Watershed Assessment (AGWA)-A GIS-Based Hydrologic Modeling Tool*. <http://www.tucson.ars.ag.gov/agwa>
 48. Buttner G. (2012): *Guidelines for verification and enhancement of high-resolution layers produced under GMES initial operations (GIO) Land monitoring 2011 – 2013*, EEA Report.
 49. Cai G., Ren H., Yang L., Zhang N., Du M., Wu, C. (2019): *Detailed Urban Land Use Land Cover Classification at the Metropolitan Scale Using a Three-Layer Classification Scheme*. Sensors 2019, 19, 3120.
 50. Campbell J., Shin M. (2011): *Essentials to Geographic Information Systems*. Irvington: Flat World Knowledge, Inc.
 51. Canada Centre for Remote Sensing (2007): *Fundamentals of Remote Sensing*. Ottawa: Canada Centre for Remote Sensing.
 52. Cantón Y., Solé-Benet A., De Vente J., Boix-Fayos C., Calvo-Cases A., Asensio C., Puigdefábregas, J. (2011): *A review of runoff generation and soil erosion across scales in semiarid south-eastern Spain*. Journal of Arid Environments, 75(12), 1254-1261. doi:10.1016/j.jaridenv.2011.03.004
 53. Carlson T. N., Ripley D. A. (1997): *On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index*. Remote Sens. Environ., 62, 241–252.
 54. Carlson T.N., Arthur S.T. (2000): *The impact of land use – land cover changes due to urbanization on surface microclimate and hydrology: A satellite perspective*. Glob. Planet Change 25: 49–65.
 55. CEC (Commission of the European Communities) (2006): *Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council, establishing a framework for the protection of soil and amending*. Directive 2004/35/EC. Com 231 final, Brussels.
 56. Chen J. (2007): *Rapid urbanization in China: A real challenge to soil protection and food security*. Catena 69, pp. 1-15, doi:10.1016/j.catena.2006.04.019
 57. Chow V.T., Maidment D., Mays L. (1988): *Applied Hydrology*, Mc Grow Hill Book Co, New York.
 58. Cohen J.A. (1960): *A coefficient of agreement for nominal scales*. Educational and Psychological Measurements. 20:37–46.

59. Congalton R. G. (1991): *A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data*. Remote Sensing of Environment, 37, 35-46.
60. Copeland C. (2003): *Clean Water Act and Total Maximum Daily Loads (TMDLs) of Pollutants*. Congressional Research Service CRS:Washington, DC, USA.
61. Corbet C. W., Wahl M., Porter D.E., Edwards D., Moise C. (1997): *Nonpoint source runoff modeling: A comparison of a forested watershed and an urban watershed on the South Carolina coast*. J Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 213: 133–149.
62. Correa-Muñoz N.A., Higido-Castro J.F. (2017): *Determination of landslide susceptibility in linear infrastructure, Case: Aqueduct network in Palacé, Popayan (Colombia)*, Ingeniería e Invest, 37 (2): 17–24.
63. da Silva R.M., Santos C.A.G., Silva A. M. (2014): *Predicting soil erosion and sediment yield in the Tapacurá catchment, Brazil*, Journal of Urban and Environmental Engineering (JUEE), v.8, n.1 p. 75-82, 2014
64. Dalaris M., Psilovikos A., Sapountzis M., Mourtzis P., Mourtziou P.(2013): *Water erosion assessment in skiathos island using the Gavrilovic method*. Fresenius Environmental Bulletin, 22 (10), pp. 2943-2952.
65. Dangler E.W., El-Swaify S.A. (1976): *Erosion of selected Hawaii soils by simulated rainfall*. Soil Sci Soc Am J.;40(5):769–73.
66. David W.P. (1988): *Soil and water conservation planning: policy issues and recommendations*. J. Philippine Dev. 15 (26), 47–84.
67. De Cesare G., Beyer Portner N., Boillat J., Scleiss A. (1998): *Modelling of erosion and sedimentation based on field investigation in Alpine reservoirs of hydropower schemes*. German Coastal Engineering Research Council, parallel session 34.
68. De Jong M. S., Van der Meer D. F. (2004): *Remote Sensing Image Analysis: Including The Spatial Domain*, Springer Science+Business Media <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-2560-0>
69. De Jong S.M. (1994). *Derivation of vegetation variables from a Landsat TM image for modelling soil erosion*. Earth Surf. Process. Landf. 19. <http://dx.doi.org/10.1002/esp.3290190207>.
70. De Koning G., Veldkamp A., Fresco L. (1998): *Land use in Ecuador: as statistical analysis at different aggregation levels*. Agriculture, Ecosystems Environment, 70 (2), 231–247.
71. De Roo A.P.J., Wesseling C.G., Ritsema C.J. (1996): *Lisem: A Single-Event Physically Based Hydrological and Soil Erosion Model for Drainage Basins. I: Theory, Input and Output*. Hydrol. Process. 1996, 10, 1107–1117.
72. De Vente J. (2009): *Soil Erosion and Sediment Yield in Mediterranean Geoecosystems - Scale issues, modelling and understanding*. PhD Thesis, ISBN 978-90-8649-233-6 Faculteit Wetenschappen, Geel Huis, Kasteelpark Arenberg 11, 3001
73. De Vente J., Poesen J. (2005): *Predicting soil erosion and sediment yield at the basin scale: scale issues and semi-quantitative models*. Earth-Science Reviews, 71(1), 95–125.
74. De Vente J., Poesen J., Bazzoffi B., Van Rompaey A., Verstraeten G. (2006): *Predicting catchment sediment yield in Mediterranean environments: the importance of sediment sources and connectivity in Italian drainage basins*, Earth Surface Processes and Landforms, 31, 1017-1034.
75. Deering D. W. (1978): *Rangeland reflectance characteristics measured by aircraft and spacecraft sensors*, Ph.D. Thesis, Texas A&M University, College Station.
76. Deng X., Huang J., Rozelle, S., Uchida E. (2006): *Cultivated land conversion and potential agricultural productivity in China*. Land Use Policy 2006, 23, 372–384.
77. Desmet P.J., Govers G. (1996): *A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units*, Journal of Soil and Water Conservation, 51 (5): 427–433.
78. Didan K., Barreto Munoz A., Solano R., Huete A. (2015): *MODIS Vegetation Index User's Guide (MODIS13 Series)*, Vegetation Index and Phenology Lab, The University of Arizona

79. Dobrota M. (2018): *Statistički pristup definisanja zone osetljivosti u metodama daljinskog uzorkovanja*. Doktorska disertacija, Fakultet Organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu.
80. Dorren L.K.A., Maier B., Seijmonsbergen A.C. (2003): *Improved Landsat-based forest mapping in steep mountainous terrain using object-based classification*. For. Ecol. Manag., 183, 31–46.
81. Dragicević N. (2016): *A review of the Gavrilovic method (erosion potential method) application*, Gradjevinar, 68, 9, 715-725, Beograd.
82. Dragičević S. (2013): *Week/Lecture 1: Spatial Modeling: Introduction. GEOG-Advanced Spatial Analysis and Modeling*. Simon Fraser University.
83. Du Y., Zhang Y., Ling F., Wang Q., Li W., Li X. (2016): *Water Bodies' Mapping from Sentinel-2 Imagery with Modified Normalized Difference Water Index at 10-m Spatial Resolution Produced by Sharpening the SWIR Band*. Remote Sens. 2016, 8, 354.
84. Dumas P., Fossey M (2009): *Mapping potential soil erosion in the Pacific Islands: A case study of Efate Island (Vanuatu)*. 11th Pacific Science Inter-Congress: Pacific Countries and Their Ocean, Facing Local and Global Changes.
85. EC (European Commission) (2006): *Communication from the commission to the council, the European parliament, the European economic and social committee of the regions*. In: Thematic Strategy for Soil Protection, (COM (2006) 231 final).
86. Ehiorobo J.O., Audu, H.A.P. (2012): *Monitoring of gully erosion in an urban area using geoinformation technology*. Scholarlink Research Institute of Journals, 3(2), 270- 275.
87. Elirehema Y., (2001): *Soil water erosion modeling in selected watersheds in Southern Spain*. Enscheda: IFA, ITC.
88. Ellison W.D. (1947): *Soil erosion studies*. Agric. Eng., 28: 145-146, 197-201,245-248,297-300, 349-351,402-405,442-450.
89. Emmanouloudis D., Christou O., Filippidis E. (2003): *Quantitative estimation of degradation in the Aliakmon river basin using GIS*. Erosion Prediction in Ungauged Basins: Integrating Methods and Techniques. IAHS Publication, 279, 234.
90. Emmanouloudis D., Filippidis E. (2002): *A quantitative estimation model of mountainous watershed degradation*. Kick-off workshop on IAHS, Decade of prediction in ungauged basins (PUB) - Hydrological Science on Mission, Brazil.
91. ESRI (2011): *ArcGIS Desktop: Release 10*. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.
92. Estrany J., Garcia C., Walling, D.E. (2010): *An investigation of soil erosion and redistribution in a Mediterranean lowland agricultural catchment using caesium-137*. International Journal of Sediment Research, 25(1), 1–16.
93. Fanetti D., Vezzoli L. (2007): *Sediment input and evolution of lacustrine deltas: The Breggia and Greggio Rivers case study (Lake Como, Italy)*. Quaternary International, 173-174, 113-124
94. Farhan Y., Nawaiseh S. (2015): *Spatial assessment of soil erosion risk using RUSLE and GIS techniques*. Environ Earth Sci 74, 4649–4669 (2015). <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4430-7>
95. Faulkner S. (2004): *Urbanization impacts on the structure and function of forested wetlands*. Urban Ecosyst 7, 89–106.
96. Fernandez C., Wu J.Q., McCool D.Q., Stockle C.O. (2003): *Estimating water erosion and sediment yield with GIS, RUSLE and SEDD*. Journal of Soil and Water Conservation 58 (3), 128e136.
97. Ferreira C.S.S., Ferreira A.J.D., Pato R.L., Magalhães C.M., Coelho C.O., Santos C. (2012): *Rainfall-runoff-erosion relationships study for different land uses, in a sub-urban area*. Zeitschrift für Geomorphologie Vol. 56, Suppl. 3, 005-020, Stuttgart. doi: 10.1127/0372-8854/2012/S-00101
98. Ferro V., Porto P. (2001): *Sediment Delivery Distributed (SEDD) Model*. J. Hydrol. Eng. 2000, 5, 411–422.

99. Fischer J.T., Kowalski J. Pudasaini S.P. (2012): *Topographic curvature effects in applied avalanche modeling*. Cold Regions Science and Technology 74: 21–30.
100. Fisher, P.F., Pathirana, S. (1990): *The evaluation of fuzzy membership of land cover classes in the suburban zone*. Remote Sens. Environ., 34, 121–132.
101. Foster G. R., Toy T. E., Renard, K. G. (2003): *Comparison of the USLE, RUSLE1.06c, and RUSLE2 for Application to Highly Disturbed Lands*. In First Interagency Conference on Research in Watersheds, October 27–30 (pp. 154–160). United States Department of Agriculture, 2003.
102. Fomelis M., Lekkas E., Parcharidis I. (2004): *Landslide susceptibility mapping by GIS-based qualitative weighting procedure in Corinth area*, Bulletin of the Geological Society of Greece 36 (2): 904–912,
103. Franz C., Makeschin F., Weiß H., Lorz C. (2014): *Sediments in urban river basins: Identification of sediment sources within the Lago Paranoá catchment, Brasilia DF, Brazil - using the fingerprint approach*. Science of the Total Environment, 466-467, 513–523. doi:10.1016/j.scitotenv.2013.07.056
104. Friedl M.A, McIver D.K., Hodges J.C.F., Zhang X.Y., Muchoney D., Strahler A.H., Woodcock C.E., Gopal S., Schneider A., Cooper A., et al. (2002): *Global land cover mapping from MODIS: algorithms and early results*. Remote Sens Environ. 83(1–2):287–302., doi: 10.1016/S0034-4257(02)00078-0.
105. Friedl M.A., Sulla-Menasse D., Tan B., Schneider A., Ramankutty N., Sibley A., Huang X. (2010): *MODIS Collection 5 global land cover: algorithm refinements and characterization of new datasets*. Remote Sensing Environment 114(1):168–182. doi: 10.1016/j.rse.2009.08.016.
106. Gaffield S.J., Goo R.L., Richards L.A., Jackson R.J. (2003): *Public health effects of inadequately managed stormwater runoff*. American Journal of Public Health, 93(9), 1527-1533. doi:10.2105/AJPH.93.9.1527
107. Gaiser T., Stahr K., Billen N., Mohammad, M. (2008): *Modeling carbon sequestration under zero tillage at the regional scale*. Vol. I: The effect of soil erosion. Ecological Modelling, 218(1-2), 110–120. doi:10.1016/j.ecolmodel.2008.06.025
108. Gardi C., Panagos P., Van Liedekerke M., Bosco C., De Brogniez D (2015): *Land take and food security: Assessment of land take on the agricultural production in Europe*. J. Environ. Plan. Manag. 58, 898–912.
109. Gavrilović S. (1962): *Proračun srednje-godišnje količine nanosa prema potencijalu erozije*, Glasnik Šumarskog fakulteta, Univerziteta u Beogradu, br.26.
110. Gavrilović S. (1972): *Inženjering o bujičnim tokovima i eroziji*, Izgradnja, Specijalno izdanje, Beograd.
111. Ghani S.E., Kanbur R. (2013): *Urbanization and (in) Formalization*; World Bank: Washington, DC, USA, 2013.
112. Gianinetto M., Aiello M., Vezzoli R., Polinelli N. F., Rulli C. M., Chiarelli D. D., Bocchiola D., Ravazzani G., Soncini A. (2020): *Future Scenarios of Soil Erosion in the Alps under Climate Change and Land Cover Transformations Simulated with Automatic Machine Learning*. Climate 8 (2). <https://doi.org/10.3390/cli8020028>.
113. Globevnik L., Holjević D., Petkovček G., Rubinić J. (2003): *Applicability of the Gavrilovic method in erosion calculation using spatial data manipulation techniques, Erosion Prediction in Ungauged Basins: Integrating Methods and Techniques*. Proceedings of symposium HS01 held during IUGO2003 at Sapporo. July 2003. IAHS Publ. no. 279, Sapporo.
114. Gobin A., Jones R., Kirkby M., Campling P., Goversa G., Kosmas C., Gentile A.R. (2004): *Indicators for pan-European assessment and monitoring of soil erosion by water*. Environmental Science & Policy 7 (2004) 25–38

115. Gomez C., White J. C., Wulder M. A. (2016): *Optical remotely sensed time series data for land cover classification: A review*, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 116, 55–72
116. Gómez-Gutiérrez, Á., Conoscenti C., Angileri S.E., Rotigliano E., Schnabel S. (2015): *Using topographical attributes to evaluate gully erosion proneness (susceptibility) in two Mediterranean basins: Advantages and limitations*, Natural Hazards, 79 (1): 291–314,
117. Gonzalez R. C., Woods R.E. (2008): *Digital Image Processing*, Prentice Hall.
118. Goodchild M.F., Guoqing S., Shiren Y. (1992): *Development and test of an error model for categorical data*. International Journal of Geographical Information Systems 6: 87–104.
119. Gorelick N., Hancher M., Dixon M., Ilyushchenko S., Thau D., Moore R. (2017): *Google Earth Engine: planetary-scale geospatial analysis for everyone*. Remote Sens. Environ. 202, 18–27.
120. Greenstein D.J., Bay S.M., Young D.L., Asato S., Maruya K., Lao W. (2014): *The use of sediment toxicity identification evaluation methods to evaluate clean up targets in an urban estuary*. Integrated Environmental Assessment and Management, 10(2), 260-8. doi:10.1002/ieam.1512
121. Grimm M., Jones R.J.A., Rusco E., Montanarella L. (2003): *Soil erosion risk in Italy: a revised USLE approach*. European Soil Bureau Research Report No. 11, EUR,EN.
122. Grimm N.B., Foster, D., Groffman, P., Grove, J.M., Hopkinson, C.S., Nadelhoffer, K.J., Pataki, D.E., Peters, D.P. (2008): *The changing landscape: Ecosystem responses to urbanization and pollution across climatic and societal gradients*. Front. Ecol. Environ. 2008, 6, 264–272.
123. Gulch E. (1991): *Extraction of Geometric Features from Digital Imagery*, Digital Photogrammetric Systems, Wichmann.
124. Gutman G., Ignatov A. (1998): *The derivation of the green vegetation fraction from NOAA/AVHRR data for use in numerical weather prediction models*. Int. J. Remote Sens. 19, 1533–1543.
125. Haan, C.T., Barfield B.J., Hayes JC. (1994): *Design hydrology and sedimentology for small catchments*, San Diego: Elsevier,
126. Hagen A. (2002): *Multi-method assessment of map similarity*. Paper presented at the 5th AGILE Conference on Geographic Information Science, Palma, Spain.
127. Haile G. W., Fetene M. (2010): *Assessment of soil erosion hazard in Kilie catchment, East Shoa, Ethiopia*. Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com) DOI: 10.1002/ldr.1082
128. Hajigholizadeh M., Melesse A.M., Fuentes H.R. (2018): *Erosion and Sediment Transport Modelling in Shallow Waters: A Review on Approaches, Models and Applications*. International Journal of Environmental Research and Public Health 15 (3), 518
129. Halecki W., Kruk E., Ryzek M. (2018): *Evaluation of water erosion at a mountain catchment in Poland using the G2 model*, Catena, 164, 116-124, ISSN 0341-8162, <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.01.014>
130. Hammond A.L. (1992): *World Resources: 1992-93; A Guide to the Global Environment*; Oxford University Press: Oxford, UK.
131. Hardin P.J. (2000): *Neural networks versus nonparametric neighbor-based classifiers for semisupervised classification of Landsat Thematic Mapper imagery*. Opt. Eng. 39, 1898–1908.
132. Harmon R.S., Doe W.W. (2001): *Landscape Erosion and Evolution Modeling*. Kluwer Academic/Plenum Publishers/ New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow
133. Herslund L. B., Jean-Baptiste N., Jalayer F., Jørgensen G., Kabisch S., Lindley S., Nyed P. K., Pauleit S., Printz A., Vedeld T. (2015): *Developing multiple-dimensional assessment of urban vulnerability to climate change in sub-Saharan Africa*. Nat Hazards 82:149–172
134. Hickey R., Smith A., Jankowski P. (1994): *Slope length calculations from a DEM within ARC/INFO GRID*, Computers, Environment and Urban Systems, 18 (5): 365-380.

135. Hu L.J., Flanagan C. D. (2013): *Towards New-Generation Soil Erosion Modeling: Building a Unified Omnivorous Model*. Journal of Soil and Water Conservation 68 (4): 100A LP-103A. <https://doi.org/10.2489/jswc.68.4.100A>.
136. Hu S., Zhi-Mao G., Jun-Ping Y. (2001): *The impacts of urbanization on soil erosion in the Loess Plateau region*. Journal of Geographical Sciences, 11(3), 282-290. doi:10.1007/BF02892311
137. Huang C., Davis L.S., Townshend J.R.G. (2002): *An assessment of support vectormachines for land cover classification*. Int. J. Remote Sens., 23, 725–749.
138. Hugo G. (2017): *New Forms of Urbanization: Beyond the Urban-Rural Dichotomy*. Routledge: Abingdon-on-Thames, UK, 2017.
139. International Geographical Union (IGU) (1968): *Commision on applied geomorphology, Subcommission on geomorphological mapping, The unfied key to the detailed geomorphological map of the world 1:25000–1:50000*, Folia geographica, series geograpcيا-physica, vol. II. Krakow; Зоран Никић и Радмила Павловић, Хидрогеолпгија са геоморфологијом (Београд: Планета принт, 2012), 395.
140. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2007): *Climate change 2007. The physical science basis*. In: Solomon Q, Qin D, Manning M, Chen Z and others (eds) Contribution of Working Group 1 to the 4th assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge
141. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2014): *Climate Change 2014: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (Eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
142. Jacob D., Petersen J., Eggert B. et al. (2014): *EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research*. Reg Environ Change 14, 563–578. <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0499-2>
143. Jain M.K., Das D. (2010): *Estimation of sediment yield and areas of soil erosion and deposition for watershed prioritization using GIS and remote sensing*. Water Resources management, 24 (10), 2091–2112.
144. Jeanneau A., Herrmann T., Ostendorf B. (2021): *Mapping the Spatio-Temporal Variability of Hillslope Erosion with the G2 Model and GIS: A Case-Study of the South Australian Agricultural Zone*. Geoderma 402 (November): 115350. <https://doi.org/10.1016/J.GEODERMA.2021.115350>.
145. Jenson S. K., Domingue J. O. (1988): *Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 54 (11): 1593–1600.
146. Jetten V., De Roo A., Mortlock F.D. (1999): *Evaluation of field-scale and catchment-scale soil erosion models*, Catena 37. 521–541
147. Jia G.S.J., Epstein H.E., Walker D.A., (2009): *Vegetation greening in the Canadian arctic related to decadal warming*. J. Environ. Monit. 11, 2231–2238.
148. Jimoh H.I. (2005): *Tropical rainfall events on erosion rates ina rapidly developing urban area in Nigeria*. Singapore Journal of Tropical Geography, 26(1), 74-81. doi:10.1111/j.0129- 7619.2005.00205.x
149. Jin D., Gu S., Shen L. (2004): *Analysis on urbanization dynamics: On factors and strategic choices of urbanization in China*. China Popul. Resour. Environ. 2004, 14, 59–64.
150. Johanson R.C., Davis H.H. (1980): *User's Manual for Hydrological Simulation Program-Fortran (HSPF)*. Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency: Washington, DC, USA, 1980; Volume 80.
151. Johnston K., Ver Hoef J.M., Krivoruchko K., Lucas N. (2001): *Using ArcGIS Geostatistical Analyst*, Environmental Systems Research, Redlands, USA, 316 pp.

152. Ju J.C., Masek J.G. (2016): *The vegetation greenness trend in Canada and US Alaska from 1984–2012 Landsat data*. Remote Sens. Environ. 176, 1–16.
153. Kalinderis I., Sapountzis M., Stathis D., Tziaftani F., Kourakli P., Stefanidis P. (2009): *The risk of sedimentation of artificial lakes, following the soil loss and degradation process in the wider drainage basin*. Artificial lake of Smokovo case study (Central Greece). International Conference LANDCON 0905 “Global Change-Challenges for soil management-from degradation-through soil and water conservation-to sustainable soil management”, Tara Mountain, Serbia.
154. Kandel D.D., Western A.W., Grayson R.B., Turrall H.N. (2004): *Process parameterization and temporal scaling in surface runoff and erosion modelling*. Hydrol. Process. 2004, 18, 1423–1446.
155. Karaburun A. (2010): *Estimation of C factor for soil erosion modeling using NDVI in Buyukcekmece watershed*. Ozean J. Appl. Sci. 3, 77–85.
156. Karsidi A. (2004): *Spatial analysis of land use/land cover change dynamics using remote sensing and geographic information systems: A Case Study in the downstream and surrounding of the CiTarum watershed*, doctoral dissertation, Department of Geographical and Environmental Studies The University of Adelaide South Australia
157. Karydas C., Bouarour O., Zdruli P. (2020): *Mapping Spatio-Temporal Soil Erosion Patterns in the Candelaro River Basin, Italy, Using the G2 Model With Sentinel2 Imagery*, Geosciences 10, no. 3: 89.
158. Karydas C.G., Panagos P. (2016): *Modelling monthly soil losses and sediment yields in Cyprus*. International Journal of Digital Earth, 9(8): 766-787
159. Karydas C.G., Panagos P., Gitas I. (2012): *A classification of water erosion models according to their geospatial characteristics*. International Journal of Digital Earth, 1-22. doi: 0.1080/17538947.2012.671380
160. Karydas C.G., Panagos, P. (2018): *The G2 erosion model: An algorithm for month-time step assessments*, Environmental Research, 161: 256-267
161. Karydas C.G., Zdruli P., Koci S., Sallaku F. (2015): *Monthly time-step erosion risk monitoring of Ishmi-Erzeni watershed, Albania using the G2 model*. Environmental Modeling & Assessment, 20(6): 657-671
162. Kazimierski L.D., Irigoyen M., Re M., Menendey A.N., Spalletti P., Brea J.D. (2013): *Impact of climate change on sediment yield from the upper Plata basin*. International Journal of River Basin Management 11 4, pp.1-11.
163. Kheir R.B. (2008): *A conditional GIS-interpolation-based model for mapping soil-water erosion processes in Lebanon*, Land Degrad. Develop. 19: 122–135, DOI: 10.1002/ldr.834
164. Khorram S., Wiele C. F., Koch F. H., Nelson S. A., Potts M. D. (2016): *Principles of Applied Remote Sensing*. New York: Springer Science+Business Media LLC.
165. Kilibarda M. (2013): *Automatsko kartiranje klimatskih varijabli primenom prostorno-vremenskih geostatičkih metoda*, doktorska disertacija Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet
166. Kim J., Park Y., Yoo D., Kim N., Engel B.A., Kim S., Kim K., Kyoung J. (2009): *Development of a SWAT patch for better estimation of sediment yield in steep sloping watersheds*. JAWRA Journal of the American Water Resources Association 45(4), 963–972.
167. Kinnell P. (2000): *AGNPS-UM Applying the USLE-M within the agricultural non-point source pollution model*. Environ. Model. Softw. 15, 331–334.
168. Kinnell P. I. A. (2010): *Event soil loss, runoff and the Universal Soil Loss Equation family of models: A review*. J. Hydrol., 385(1–4), 384–397. <http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.01.024>.
169. Kirchhof W., Haberäcker P., Krauth E., Kritikos G., Winter R. (1980): *A rapid method to generate spectral theme classification of Landsat imagery*. Acta Astronaut., 7, 243–253.

170. Kirkby M.J., le Bissonais Y., Coulthard T.J., Daroussin J., McMahon M.D. (2000): *The development of land quality indicators for soil degradation by water erosion*. Agric. Ecosyst. Environ. 2000, 81, 125–136.
171. Knežević M., Đorđević A., Košanin O., Miletić Z., Golubović S., Pekeč S., Životić L., Nikolić N., Žarković M. (2011): *Usklađivanje nomenklature osnovne pedološke karte sa WRB klasifikacijom*. Univerzitet u Beogradu Šumarski fakultet.
172. Knisel W. (1980): *CREAMS: A Field-Scale Model for Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems*; USDA: Washington, DC, USA, 1980; p. 640.
173. Koch A., McBratney A. B., Adams M., Field D. J., Hill R., Lal R., Abbott L., Angers D., Baldock J., Barbier E., Bird M., Bouma J., Chenu C., Crawford J., Flora C. B., Goulding K., Grunwald S., Jastrow J., Lehmann J., Lorenz K., Minansy B., Morgan C., O'Donnell A., Parton W., Rice C. W., Wall D. H., Whitehead D., Young I., Zimmermann M. (2013): *Soil security: solving the global soil crisis*. Global Policy J., 2013. doi: 10.1111/1758-5899.12096, 1-8 pg
174. Kukrika M. (2000): *Geografski informacioni sistemi*. Univerzitet u Beogradu, Geografski fakultet, Beograd.
175. Kundzewicz Z.W. (2008): *Flood risk and vulnerability in the changing climate*. – Ann. Warsaw Univ. Sife Sci. 39: 21–31.
176. Kusky M. T. (2010): *Urbanization and Flash Flooding*. Encyclopedia of Earth and Space Science (pg. 282). Facts on File, Inc., Infobase Publishing, New York, 916 pp.
177. Кадовић Р., Белановић Симић С., Перовић В., Белоица Ј., Радојчић Д. (2016): *Безбедност земљишта – одговор на егзистенцијалне изазове животне средине, Деградиција и заштита земљишта [Електронски извор]: тематски зборник, Универзитет у Београду, Шумарски факултет ISBN 978-86-7299-242-7*
178. Laflen, J.M., Lane, L.J., Foster, G.R. (1991): *WEPP: A new generation of erosion prediction technology*. J. Soil Water Conserv. 1991, 46, 34–38.
179. Lal R. (1994): *Soil Erosion Research Methods*. CRC Press: Boca Raton, FL, USA.
180. Lal R. (2001): *Soil degradation by water erosion*. Land Degradation & Development, 539, 519-539.
181. Lal R. (2010): *Managing Soils and Ecosystems for Mitigating Anthropogenic Carbon Emissions and Advancing Global Food Security*, Bioscience, 60, pp. 708–712.
182. Landis J.R., Koch G.G. (1977): *The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data*. Biometrics, Vol. 33, pp.159-174.
183. Lara M.J., Nitze I., Grosse G., Martin P., McGuire A.D. (2018): *Reduced arctic tundra productivity linked with landform and climate change interactions*. Sci. Rep. 8, 2345.
184. Lazarević D., Mišić M., Ćirković B. (2014): *Postojeće tehnike za segmentaciju slike, ZBORNIK abstrakata / Festival kvaliteta 2014 [u okviru manifestacija] 41. Nacionalna konferencija o kvalitetu, 9. Nacionalna konferencija o kvalitetu života [i] 5. Konferencija studenata industrijskog inženjerstva i menadžmenta, 22-23 maj, 2014, Kragujevac; Fakultet inženjerskih nauka u Kragujevcu, ISBN 978-86-6335-005-2*
185. Lazarević R. (1983): *Karta erozije SR Srbije 1:500000-Tumač*, Institut za šumarstvo i drvnu industriju, Beograd 1983.
186. Le Bissonnais Y., Montier C., Jamagne M., Daroussin J., King D. (2002): *Mapping erosion risk for cultivated soil in France*. Catena, 46(2), 207–220.
187. Lee S., Ryu J.H., Won J.S., Park H.J. (2004): *Determination and application of the weights for landslide susceptibility mapping using an artificial neural network*, Engineering Geology 71 (3–4): 289–302,
188. Lee S., Sambath T. (2006): *Landslide susceptibility mapping in the Damrei Romel area, Cambodia using frequency ratio and logistic regression models*. Environmental Geology 50 (6): 847–855.

189. Lense G. H. E., Parreiras T.C., Moreira R.S., Avanzi J. C., Mincato R. L. (2019): *Estimates of soil losses by the erosion potential method in tropical latosols*, *Ciência e Agrotecnologia*, 43:e012719, 2019, <http://dx.doi.org/10.1590/1413-7054201943012719>
190. Levin N. (1999): *Fundamentals of Remote Sensing*. Tel Aviv, Israel: Remote Sensing Laboratory, Geography Department, Tel Aviv University.
191. Li A.N., Wang A.S., Liang S.L. (2006): *Eco-environmental vulnerability evaluation in mountainous region using remote sensing and GIS: a case study in the upper reaches of Mingjiang River, China*. *Ecol. Model.* 192, 175–187.
192. Lillesand T. M., Kiefer W. R., Chipman W., J. (2015): *Remote sensing and image interpretation- Seventh edition*, John Wiley & Sons. US ISBN 978-1-118-34328-9
193. Lim K., Sagong M., Engel B., Tang Z., Choi J., Kim K., (2005): *GIS-based sediment assessment tool*. *Catena* 64 (1), 61–80.
194. Llorens P., Domingo F. (2007): *Rainfall partitioning by vegetation under Mediterranean conditions. A review of studies in Europe*. *Journal of Hydrology*. 335: 37– 54.
195. Lo C. P. (1986): *Applied remote sensing* (p. 227). New York: Longman Inc.
196. Louis J., Debaecker V., Pflug B., Main-Knorn M., Bieniarz J., Mueller-Wilm U., Cadau E., Gascon F. (2016): *Sentinel-2 Sen2Cor: L2A Processor for Users*. In Proceedings of the Living Planet Symposium (Spacebooks Online), Prague, Czech Republic, 9–13 May 2016; pp. 1–8.
197. Loureiro N.D.S., Coutinho M. D.A. (2001): *A new procedure to estimate the RUSLE EI30 index, based on monthly rainfall data and applied to the Algarve region, Portugal*. *J. Hydrol.*, 250(1–4), 12–18. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(01\)00387-0](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00387-0), 2001.
198. Lovrić N., Tošić R. (2018): *Assessment of Soil Erosion and sediment yield using erosion potential method: case study – Vrbas River Basin*, *Bulletin of the Serbian Geographical Society*, 98 (1), Belgrade.
199. Lozić S. (1995): *Vertikalna raščlanjenost reljefa kopnenog dijela Republike Hrvatske*, *Acta Geographica Croatica*, 30.(1.), str. 17-26.
200. Lu D., Weng Q. (2007): *A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance*. *Int. J. Remote Sens.*, 28, 823–870.
201. Luleva M.I., Van Der Werff H., Van Der Meer F., Jetten V. (2012): *Gaps and opportunities in the use of remote sensing for soil erosion*. *Chemistry: Bulgarian Journal of Science Education*, 21(5), 748–764.
202. Ma L., Manchun L., Xiaoxue M., Cheng L., Du P., Liu Y. (2017): *A review of supervised object-based land-cover image classification*, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 130, 277–293
203. Magliulo P., Russo F., Lo Curzio S. (2020): *Detection of permanently eroded landsurfaces through multitemporal analysis of Landsat data: a case study from an agricultural area in southern Italy*. *Environ Earth Sci* 79, 73. <https://doi.org/10.1007/s12665-020-8814-y>
204. Mallat S. Zhong S. (1992): *Characterization of signals from multiscale edges*. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 14 (7): pp. 710-732.
205. Martine G., Marshall A. (2007) *State of world population 2007: Unleashing the potential of urban growth*. In *State of World Population: Unleashing the Potential of Urban Growth*; UNFPA: New York, NY, USA, 2007.
206. Martinez-Casasnovas J. (2003): *A spatial information technology approach for the mapping and quantification of gully erosion*. *Catena*, 50(2), 293–308.
207. McDonald R.I. (2008): *Global urbanization: Can ecologists identify a sustainable way forward?* *Front. Ecol. Environ.* 2008, 6, 99–104.
208. McLeman R., Smit B. (2006): *Migration as an adaptation to climate change*. *Climatic Change*, 76(1-2), 31-53. doi:10.1007/s10584-005-9000-7
209. Merz B., Kreibich H., Schwarze R., Thielen A. (2010): *Review article “Assessment of economic flood damage”*. *Natural Hazards and Earth System Science*, 10(8), 1697-1724. doi:10.5194/nhess-10-1697-2010

210. Meyer C.R., Flanagan, D.C., Fu, H.L., Lown, J.B., Wagner, L.E., Gu, Y.W. (1997): *MOSES, a common graphical user interface for multiple erosion models*. In Proceedings of the ASA Annual Meeting, Anaheim, CA, USA, 21 April 1997.
211. Milanese L., Pilotti M., Clerici A., (2014): *The Application of the Erosion Potential Method to Alpine Areas: Methodological Improvements and Test Case*, Engineering Geology for Society and Territory – Volume 3., Springer International Publishing Switzerland
212. Milliman J.D., Syvitski J.P. (1992): *Geomorphic/tectonic control of sediment discharge to the ocean: the importance of small mountainous rivers*. The Journal of Geology (pp. 525–544), 525–544.
213. Miljević M. (2007): *Metodologija naučnog rada*. Filozofski Fakultet Univerzitet u Istočnom Sarajevu
214. Mitasova H., Barton M., Ullah I., Hofierka J., Harmon R.S. (2013): *GIS-Based Soil Erosion Modeling*. In: John F. Shroder (ed.) Treatise on Geomorphology, Volume 3, pp. 228–258. San Diego: Academic Press.
215. Mitasova H., Hofierka J., Zlocha M., Iverson L.R. (1996): *Modelling topographic potential for erosion and deposition using GIS*. Int. J. Geogr. Inf. Syst. 1996, 10, 629–641.
216. Mitchell J., Engel B., Srinivasan R., Wang S. (1993): *Validation of AGNPS for small watersheds using an integrated AGNPS/GIS system*. JAWRA Journal of the American Water Resources Association 29(5), 833–842.
217. Mohammadi S., Balouei F., Haji K., Darvishan A.K., Karydas C.G. (2021): *Country-Scale Spatio-Temporal Monitoring of Soil Erosion in Iran Using the G2 Model*. International Journal of Digital Earth 14 (8): 1019–39. <https://doi.org/10.1080/17538947.2021.1919230>.
218. Moore I.D., Burch G.J. (1986b): *Modeling erosion and deposition: topographic effects*, Transactions ASAE, 29: 1624–1640.
219. Moore I.D., Burch G.J. (1986a): *Physical basis of the length-slope factor in the Universal Soil Loss Equation*. Soil Science Society America Journal 50, 1294–1298.
220. Moore I.D., Wilson J.P. (1992): *Length-slope factors for the Revised Universal Soil Loss Equation: Simplified method of estimation*. Journal of Soil and Water Conservation, 47: 423–428.
221. Morgan R. P. C (2005): *Soil Erosion and Conservation*. National Soil Resources Institute, Cranfield University. <http://doi.org/10.1002/9781118351475.ch22>
222. Morgan R.P.C., Morgan D.D.V., Finney H.J. (1984): *A predictive model for the assessment of soil erosion risk*. J. Agric. Eng. Res. 1984, 30, 245–253.
223. Morgan R.P.C., Quinton J.N. (2001): *Erosion Modeling*. In: Harmon R.S., Doe W.W. (eds) Landscape Erosion and Evolution Modeling. Springer, Boston, MA
224. Morgan R.P.C., Quinton J.N., Smith, R.E., Govers, G., Poesen, J.W.A., Chisci, G., Torri, D. (1998): *The EUROSEM Model*. In *Modelling Soil Erosion by Water*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 1998; pp. 389–398.
225. Moskal L.M., Styers D.M., Halabisky M. (2011): *Monitoring urban tree cover using object-based image analysis and public domain remotely sensed data*. Remote Sens., 3, 2243–2262.
226. Murdock J., Roelke D., Gelwicz F. (2004): *Interactions between flow, periphyton, and nutrients in a heavily impacted urban stream: Implications for stream restoration effectiveness*. Ecological Engineering. 22: 197–207.
227. Musgrave G.W. (1947): *The quantitative evaluation of factors in water erosion, a first approximation*. 1. Soil Water Cons., 2: 133–138.
228. Naipal V., Reick C., Pongratz J., Van Oost K. (2015): *Improving the global applicability of the RUSLE model – Adjustment of the topographical and rainfall erosivity factors*. Geosci. Model Dev., 8(9), 2893–2913. <http://doi.org/10.5194/gmd-8-2893-2015>, 2015.
229. National Land and Water Resources Audit. (NLWRA) (2001): *Australian Agriculture Assessment*. Canberra, Australia.
230. Nearing M.A., Pruski F.F., O’Neal, M.R. (2004): *Expected climate change impacts on soil erosion rates - A review*. Journal of Soil and Water Conservation, 59(1), 43–50.

231. Nelson E.J., Booth D.B. (2002): *Sediment sources in an urbanizing, mixed land-use watershed*. Journal of Hydrology, 264(1-4), 51-68. doi:10.1016/S0022-1694(02)00059-8
232. Newman M.E., McLaren K.P., Wilson, B.S. (2011): *Comparing the effects of classification techniques on landscape-level assessments: Pixel-based versus object-based classification*. Int. J. Remote Sens., 32, 4055–4073.
233. Niculescu S., Billey A., Talab-Ou-Ali H. (2018): *Random forest classification using Sentinel-1 and Sentinel-2 series for vegetation monitoring in the Pays de Brest (France)*, Proc. SPIE 10783, Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XX, 1078305 (9 October 2018); doi: 10.1117/12.2325546
234. Nontananandh S., Changnoi B. (2012): *Internet GIS, based on USLE modeling, for assessment of soil erosion in Songkhram Watershed, Northeastern of Thailand*. Kasetsart J 46:272–282
235. Noori H., Seyed M. S., Barat M. (2016): *Assessment of sediment yield using RS and GIS at two sub-basins of Dez Watershed, Iran*. International Soil and Water Conservation Research4 (2016) 199–206.
236. Odum E.P. (1953): *Fundamentals of Ecology*, 384 pp. Philadelphia, Saunders
237. Oldeman L.R., Hakkeling R.T.A., Sombroek W.G. (1991): *GLASOD World Map of the Status of Human-induced Soil Degradation*. ISRIC, Wageningen UNEP, Nairobi (second revised ed.).
238. Olofsson P., Foody G.M., Herold M., Stehman S.V., Woodcock C.E., Wulder M.A. (2014): *Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change*. Remote Sens. Environ. 148, 42–57.
239. Onyando J.O., Kisoyan P., Chemelil M.C. (2005): *Estimation of potential soil erosion for river perkerra catchment in Kenya*. Water Resour. Manage. 19, 133–143.
240. Oskoei M. A., Hu H. (2010): *A Survey on Edge Detection Methods*, Technical Report: CES-506, University of Essex, 2010.
241. Osorio F., De Oña J. (2006): *Using compost from urban solid waste to prevent erosion in road embankments*. Journal of Environmental Science and Health. Part A: Toxic/hazardous Substances & Environmental Engineering, 41(10), 2311-2327. doi:10.1080/10934520600873134
242. Ouyang D., Bartholic J. (1997): *Predicting sediment delivery ratio in Saginaw Bay watershed*. In: Paper presented at the proceedings of the 22nd national association of environmental professionals conference.
243. Paine D.P., Kiser J.D. (2003): *Aerial Photography and Image Interpretation (2nd ed.)*. John Wiley, inc. New York. 632 pages.
244. Panagos P., Ballabio C., Borrelli P., Meusburger K., Klik A., Rousseva S., Alewell, C. (2015b): *Rainfall erosivity in Europe*. Sci. Total Environ., 511, 801–814. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.008>.
245. Panagos P., Borrelli P., Meusburger C., Alewell C., Lugato E., Montanarella, L. (2015d): *Estimating the soil erosion cover-management factor at European scale*. Land Use policy journal. 48C, 38-50. , doi:10.1016/j.landusepol.2015.05.021
246. Panagos P., Borrelli P., Meusburger K. (2015c): *A new European slope length and steepness factor (LS-factor) for modeling soil erosion by water*, Geosciences, 5 (2): 117–126
247. Panagos P., Borrelli P., Meusburger K., Yu B., Klik A., Jae Lim K., Ballabio C. (2017): *Global rainfall erosivity assessment based on high-temporal resolution rainfall records*. Sci. Rep., 7(1), 4175. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-04282-8>, 2017.
248. Panagos P., Borrelli P., Poesen J., Ballabio C., Lugato E., Meusburger K, Montanarella L., Alewell C. (2015a): *The new assessment of soil loss by water erosion in Europe*. Environmental Science & Policy 54, 438–447. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.08.012>.
249. Panagos P., Karydas C.G., Ballabio C., Gitas I.Z. (2014a): *Seasonal monitoring of soil erosion at regional scale: An application of the G2 model in Crete focusing on agricultural*

- land uses*. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, Volume 27, Part B, April 2014, pp. 147–155.
250. Panagos P., Karydas C.G., Gitas I.Z., Montanarella L. (2012): *Monthly soil erosion monitoring based on remotely sensed biophysical parameters: a case study in Strymonas river basin towards a functional pan-European service*, International Journal of Digital Earth 5(6): 461-487.
 251. Panagos P., Meusburger K., Ballabio C., Borrelli P., Alewell C. (2014b): *Soil erodibility in Europe: A high-resolution dataset based on LUCAS*. Science of The Total Environment 2014, 479–480, 189–200, doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.02.010>
 252. Pandey A., Chowdary V., Mal B. (2007): *Identification of critical erosion prone areas in the small agricultural watershed using USLE, GIS and remote sensing*. Water resources management, 21(4), 729–746.
 253. Pandey A.; Himanshu S.; Mishra S.; Catena V.S. (2016): *Physically based soil erosion and sediment yield models revisited*. CATENA 2016, 147, 595–620.
 254. Pandey B., Seto K.C (2015): *Urbanization and agricultural land loss in India: Comparing satellite estimates with census data*. J. Environ. Manag. 148, 53–66.
 255. Pavićević N. (1964): *Karakteristike erozionog procesa u Podunavlju*. Arhiv za poljoprivredne nauke. God XVII, sv. 56. Beograd
 256. Pavićević N., Trifunović M., Antonović G., Bogdanović M., Živanović Ž., Janjić M., Ćorović R. (1975): *Zemljišta Pančevačkog rita*. Grad Beograd – Gradska geodetska uprava. Beograd.
 257. Perović V., Đorđević A., Životić Lj., Nikolić N., Kadović R., Belanović S. (2012): *Soil Erosion Modelling in the Complex terrain of Pirot Municipality*. Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences, May 2012, Vol. 7, No. 2, 93 - 100.
 258. Perović V., Jaramaz D., Životić Lj., Čakmak D., Mrvić V., Milanović M., Saljnikov E. (2016): *Design and implementation of WebGIS technologies in evaluation of erosion intensity in the municipality of NIS (Serbia)*, Environmental Earth Sciences, (2016) 75:211, P. 1-12, DOI 10.1007/s12665-015-4857-x.
 259. Perović V., Kadović R., Djurdjević V., Braunović S., Čakmak D., Mitrović M., Pavlović P. (2018): *Effects of changes in climate and land use on soil erosion: a case study of the Vranjska Valley, Serbia*, Regional Environmental Change <https://doi.org/10.1007/s10113-018-1456-x>
 260. Perović V., Životić Lj., Kadović R., Đorđević A., Jaramaz D., Mrvić V., Todorović M. (2012): *Spatial modelling of soil erosion potential in a mountainous watershed of South-eastern Serbia*, Environmental Earth Sciences, ISSN 1866-6280, DOI 10.1007/s12665-012-1720-1.
 261. Petras J., Kuspilic N., Kunstek D. (2005): *Some experience on the prediction of suspended sediment concentrations and fluxes in Croatia*. Proceedings of Symposium SI held during the Seventh IAHS Scientific Assembly at Foz do Igacu, Brazil. IAHS, 292:179–184.
 262. Phinzi K., Ngetar N.S., Ebhuoma O. (2020): *Soil erosion risk assessment in the Umzintlava catchment (T32E), Eastern Cape, South Africa, using RUSLE and random forest algorithm*, South African Geographical Journal, DOI: 10.1080/03736245.2020.1716838
 263. Phiri D., Morgenroth J. (2017): *Developments in Landsat Land Cover Classification Methods: A Review*. Remote Sensing. 9 (9), 967.
 264. Pimentel D. (2006): *Soil erosion: A food and environmental threat*. Environment, Development and Sustainability, 8(1), 119-137. doi:10.1007/s10668-005-1262-8
 265. Pimentel D., Kounang N. (1998): *Ecology of soil erosion in ecosystems*. Ecosystems, 1(5), 416-426. doi:10.1007/s100219900035
 266. Piña N.O. (2015): *Identificación de correlaciones entre carga de lavado y algunos parámetros geomorfológicos y de uso de suelo en la cuenca del río Cauca*, Magister en Ingeniería – Recursos Hidráulicos, Universidad Nacional de Colombia Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola Bogotá d.c., Colombia

267. Poesen J., Hooke J. (1997): *Erosion, flooding and channel management in Mediterranean environments of Southern Europe*. Progress in Physical Geography 21: 157–199.
268. Poletto C., Merten G.H., Minella J.P. (2009): *The identification of sediment sources in a small urban watershed in southern Brazil: an application of sediment fingerprinting*. Environmental Technology, 30(11), 1145-1153. doi:10.1080/09593330903112154
269. Polovina S., Radić B., Ristić R., Kovačević J., Milčanović V., Živanović N. (2021): *Soil Erosion Assessment and Prediction in Urban Landscapes: A New G2 Model Approach*. Applied Sciences (Switzerland) 11 (9). <https://doi.org/10.3390/app11094154>.
270. Pontius Jr. R. G. (2000): *Quantification error versus location error in comparison of categorical maps*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 66(8), 1011-1016.
271. Portnov B.A., Paz S.A. (2008): *Climate change and urbanization in arid regions*. Annals of Arid Zone, 47(3 & 4), 1-15.
272. Pourghasemi H.R., Moradi H.R., Aghda S.F. (2013): *Landslide susceptibility mapping by binary logistic regression, analytical hierarchy process, and statistical index models and assessment of their performances*. Natural Hazards 69 (1): 749–779.
273. Prasannakumar V., Vijith H., Abinod S., Geetha N. (2012): *Estimation of soil erosion risk within a small mountainous sub-watershed in Kerala, India, using Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) and geo-information technology*. Geoscience Frontiers, 3(2), 209-215. doi:10.1016/j.gsf.2011.11.003
274. Pribadi D.O, Vollmer D., Pauleit S. (2018): *Impact of peri-urban agriculture on runoff and soil erosion in the rapidly developing metropolitan area of Jakarta, Indonesia*, Regional Environmental Change, Springer-Verlag GmbH Germany, <https://doi.org/10.1007/s10113-018-1341-7>
275. Prosser I.P., Young B., Rustomji P., Hughes A., Moran C. (2001): *A model of river sediment budgets as an element of river health assessment*. In Proceedings of the International Congress on Modelling and Simulation (MODSIM'2001), Canberra, Australia, 10–13 December 2001; pp. 10–13.
276. PSIAC-Pacific Southwest Inter-Agency Committee (1968): Report „*Factors Affecting Sediment Yield and Measures for the Reduction of Erosion and Sediment Yield*”. Pacific Southwest Inter-Agency Committee
277. QGIS Development Team (2013): *QGIS Geographic Information System*. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>
278. Qi J., Marsett R.C., Moran M.S., Goodrich D., Heilman P., Kerr Y.H., Dedieu, G., Chehbouni A. Zhang X.X. (2000): *Spatial and temporal dynamics of vegetation in the San Pedro river basin area*. Agric. For. Meteorol., 105, 55–68.
279. Radić B.; Gavrilović S. (2020): *Natural Habitat Loss: Causes and Implications of Structural and Functional Changes*. In Life on Land; 570 Leal Filho, W., Azul, A. M., Brandli, L., Lange Salvia, A., Wall, T., Eds.; Springer International Publishing: Cham, pp 1–14. 571 https://doi.org/10.1007/978-3-319-71065-5_6-1.
280. Rafaelli S., Peviani M., Perez Ayala F. (1998): *Study of sediment yield on the mountain Cuence del Rio Iruya (Argentina)*. IARH AMH, Hydraulic XVIII Latin American Conference, Oaxaca, Mexico.
281. Rahman Md.R., Shi Z.H., Chongfa C. (2009): *Land use/land cover change analysis using geo-information technology: two case studies in Bangladesh and China*. Int. J. Geoinformat. 5 (2).
282. Raja N.B., Çiçek I., Türkoğlu N., Aydin O., Kawasaki A. (2017): *Landslide susceptibility mapping of the Sera River basin using logistic regression model*. Natural Hazards. 85 (3): 1323–1346.
283. Reinhold A., Wolff G. (1970): *Methods of representing the results of photo interpretation*. Photogrammetria , 25, 201–207.

284. Renard K., Foster G., Weesies G., McCool D., Yoder, D. (1997): *Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. Agricultural Handbook No. 703. <http://doi.org/DC0-16-048938-5> 65–100.
285. Renard K.G., Foster G.R., Weesies G.A., Porter, J.P. (1991): *RUSLE: Revised universal soil loss equation*. Journal of Soil and Water Conservation, 46, 30–33.
286. Renard K.G., Foster G.R., Yoder D.C., McCool D.K. (1994): *RUSLE revisited: Status, questions, answers, and the future*. J. Soil Water Conserv., 49, 213–220.
287. Renschler C. S. (2003): *Designing geo-spatial interfaces to scale process models: the GeoWEPP approach*, Hydrol. Process. 17, 1005–1017, DOI: 10.1002/hyp.1177
288. Renschler C. S., Harbor J. (2002): *Soil erosion assessment tools from point to regional scales-the role of geomorphologists in land management research and implementation*, Geomorphology 47 (2002) 189–209
289. Rewerts C., Engel B. (1991): *ANSWERS on GRASS: integrating a watershed simulation with a GIS*. ASAE paper, pp. 91–2621.
290. Riihimäki H., Luoto M., Heiskanen J. (2019): *Estimating fractional cover of tundra vegetation at multiple scales using unmanned aerial systems and optical satellite data*, Remote Sensing of Environment 224 (2019) 119–132, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.01.030>.
291. Ristić R., Kostadinov S., Abolmasov B., Dragičević S., Trivan G., Radić B., Trifunović M., Radosavljević Z. (2012): *Torrential floods and town and country planning in Serbia*, Natural Hazards and Earth System Sciences (ISSN: 1561-8633), No. 1, Vol. 12, pg. 23-35 (DOI: 10.5194/nhess-12-23-2012).
292. Ristić R., Kostadinov S., Malošević D., Spalević V. (2001): *Erosion aspect in estimation of hydrologic soil group and determination of runoff curve number CN*. Soil and Plant, 50(3), 165–174.
293. Ristić R., Marković A., Radić B., Nikić Z., Vasiljević N., Živković N., Dragičević S. (2011): *Environmental Impacts in Serbian Ski Resorts*, Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences, Vol. 6, No. 2, pg. 125-134.
294. Ristić R., Polovina S., Malušević I., Radić B., Milčanović V., Ristić M. (2017): *Disaster Risk Reduction Based on a GIS Case Study of the Čađavica River*, SEEFOR (Southeast European Forestry), 8 (2)
295. Ristić R., Radić B., Vasiljević N. (2011): *Characteristics of maximal discharges on Torrential Watersheds in Serbia*. Journal of Environmental Protection and Ecology, 12 (2), 471–487.
296. Römken M.J.M., Young R.A., Poesen J.W.A., McCool D.K., El-Swaify S.A., Bradford J.M. (1997): *Soil erodibility factor (K)*. (Compilers) In: Renard KG, Foster GR, Weesies GA, McCool DK, Yoder DC, editors. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation
297. Rowntree K.M., Natsaba M.M., Weaver, A.V.B. (1991): *Changing patterns of erosion in a peri-urban catchment*, Maseru, Lesotho. In Sediment and stream water quality in a changing environment: Trends and explanation. (pp. 93 -102).
298. Saavedra C. (2005): *Estimating spatial patterns of soil erosion and deposition in the Andean region using geo-information techniques - A case study in Cochabamba, Bolivia*. Ph.D. dissertation, degree of Doctor at Wageningen University, The Netherlands
299. Salahalddin S. A., Foad A. A.U, Sarkawt G. S., Nadhir A.A. Knutsson S. (2016): *GIS Based Soil Erosion Estimation Using EPM Method*, Garmiyān Area, Kurdistan Region, Iraq, Journal of Civil Engineering and Architecture 10 (2016) 291-308, doi: 10.17265/1934-7359/2016.03.004
300. Sangchini E.K., Emami S.N., Tahmasebipour N., Pourghasemi H.R., Naghibi S.A., Arami S.A., Pradhan B. (2016): *Assessment and comparison of combined bivariate and AHP models with logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Chaharmahal-e-Bakhtiari Province, Iran*, Arab Journal of Geosciences 9 (3): 1–15.

301. Scalenghe R., Marsan F.A. (2009): *The anthropogenic sealing of soils in urban areas*. Landscape and Urban Planning, 90(1-2), 1-10. doi:10.1016/j.landurbplan.2008.10.011
302. Schmidt S., Alewell C., Meusburger K. (2018): *Mapping spatio-temporal dynamics of the cover and management factor (C-factor) for grasslands in Switzerland*. Remote Sensing of Environment 2018, 211, 89–104, doi:10.1016/j.rse.2018.04.008.
303. Schulze R.E. (1995): *Hydrology and Agrohydrology: A Text to Accompany the ACRU 3.00 Agrohydrological Modelling System*; Water Research Commission: Pretoria, South African.
304. Sepuru T.K., Dube T. (2017): *An appraisal on the progress of remote sensing applications in soil erosion mapping and monitoring*. Remote Sensing Applications: Society and Environment. doi:10.1016/j.rsase.2017.10.005
305. Seyfried M.S., Wilcox, B.P. (1995): *Scale and the nature of spatial variability: Field examples having implications for hydrologic modeling*. Water Resour. Res. 1995, 31, 173–184
306. Shikangalah R. N., Jeltsch F., Blaum N., Mueller E. N. (2016): *A Review on Urban Water Erosion*. J. Stud. Humanit. Soc. Sci. 5: 163 - 178.
307. Shikangalah R.N. (2016): *An Ecohydrological Impact Assessment in Urban Areas: Urban Water Erosion in Windhoek, Namibia*, doctoral dissertation, Faculty of Mathematics and Natural Sciences at the University of Potsdam, Germany, urn:nbn:de:kobv:517-opus4-102356.
308. Shuster W.D., Bonta J., Thurston H., Warnemuende E., Smith D.R. (2005): *Impacts of impervious surface on watershed hydrology: A review*. Urban Water Journal, 2(4), 263-275. doi:10.1080/15730620500386529
309. Slattery M., Gares P.A. Phillips D. (2002): *Slope-channel linkage and sediment delivery on North Carolina coastal plain cropland*. Earth Surface Processes and Landforms, 27: 1377-1387.
310. Smith D.D. (1941): *Interpretation of soil conservation data for field use*. Agric. Eng., 22: 173-175.
311. Snedecor G. W., Cochran W. G. (1968): *Statistical Methods*, 6th ed. Ames, Iowa: The Iowa State University Press.
312. Sobel I., Feldman G. (1968): *A 3x3 Isotropic Gradient Operator for Image Processing*, presented at the Stanford Artificial Intelligence Project (SAIL) in 1968.
313. Spalević V., Čurović M., Billi P., Fazzini M., Frankl A., Nyssen J. (2014): *Soil erosion in the Zim potok watershed Polimlje river basin, Montenegro*, Agrosym 2014 : book of proceedings : fifth international scientific agricultural symposium 'Agrosym 2014'. p.739-747
314. StatPoint Technologies, Inc. (2019): *STATGRAPHICS® Centurion XVIII Software* (version 15.1.12.). Statgraphics Technologies, Inc. The Plains, Virginia
315. Stefanidis P., Myronidis D., Sapountzis M., Stathis D. (1998): *The torrent “Sklirho” in Florina*. Torrential Environment and torrent control system. Scientific Annals. Department of forestry and natural environment. Aristotelian University of Thessaloniki. 41, (2), 1275.
316. Steiner D. (1970): *Automation in photo interpretation*. Geoforum, 1, 75–88.
317. Steiner F.R. (2008): *The Living Landscape*. Island press (496).
318. Stocking M.A. (1981): *Working Model for the Estimation of Soil Loss Suitable for Underdeveloped Areas*; School of Development Studies, University of East Anglia: Norwich, UK.
319. Strahler A.H. (2010): *Introducing Physical Geography*. (5th Ed.). Chichester: John Wiley & Sons.
320. Stroosnijder L. (2005): *Measurement of erosion: Is it possible?* Catena, 64(2-3), 162-173. doi:10.1016/j.catena.2005.08.004
321. Syvitski J.P.M., Milliman J.D. (2007): *Geology, Geography, and Humans Battle for Dominance over the Delivery of Fluvial Sediment to the Coastal Ocean*. J. Geol. 2007, 115, 1–19.

322. Szendrene-Koren E., Nemeskeri I. (2007): *Water Management of forest soils below different soil types*, Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences, 2 (1), 17–24.
323. Šešić B. (1974): *Opšta metodologija*, Naučna knjiga, Beograd.
324. Škorić A., Filipovski G., Ćirić M. (1985): *Klasifikacija zemljišta Jugoslavije*. Posebno izdanje Akademije nauka i umjetnosti Bosne i Hercegovine, Odjelo prirodnih i matematičkih nauka, LXXVIII, Sarajevo.
325. Takken I., Jetten V., Govers G., Nachtergaele J., Steegen A. (2001): *The effect of tillage-induced roughness on runoff and erosion patterns*. Geomorphology, 37, 1–14.
326. Tempfli K., Kerle N., Huurneman G. C., Janssen L. L. (2009): *Principles of Remote Sensing: An introductory textbook*. Enschede: The International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC).
327. The Danish Hydraulic Institute (DHI) (2003): *MIKE BASIN. A Versatile Decision Support Tool for Integrated Water Resources Management Planning [R/OL]*, Hørsholm, Denmark.
328. Thompson M.M., Mikhail E.M. (1976): *Automation in photogrammetry: Recent developments and applications (1972–1976)*. Photogrammetria 1976, 32, 111–145.
329. Thornes J.B. (1985): *The ecology of erosion*. Geography, 70, 222–235.
330. Torri D., Poesen J., Borselli L. (1997): *Predictability and uncertainty of the soil erodibility factor using a global dataset*. Catena; 31(1–2):1–22.
331. Tošić R., Dragičević S., Zlatić M., Todosijević M., Kostadinov S. (2012): *The impact of socio-demographic changes on land use and soil erosion (case study: Ukrina River catchment)*, Географски разгледи (46) 69–78.
332. Trenberth K. E. (2011): *Changes in Precipitation with Climate Change*. Climate Research 47 (1–2): 123–38. <https://doi.org/10.3354/cr00953>.
333. Trifunov S. (2019): *Gazdovanje šumama u zaštićenim područjima u Srbiji i realizacija konzervacionih ciljeva*. Doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički Fakultet-Departman za biologiju i ekologiju
334. Turner B., Meyer W., Skole D. (1994): *Global land-use/land cover change: towards an integrated study*. Ambio, 23(1), 91–95.
335. UN (2019): *The Sustainable Development Goals Report 2019*.
336. UNCCD (2015): *Integration of the Sustainable Development Goals and targets into the implementation of the United Nations Convention to Combat Desertification and the Intergovernmental Working Group report on land degradation neutrality*. Draft decision submitted by the Chair of the Committee of the Whole. ICCD/COP(12)/L.4
337. UNCCD (2016): *Land Degradation Neutrality Target Setting – A Technical Guide*. United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD).
338. UNCCD (2017): *Good Practice Guidance SDG Indicator 15.3.1, Proportion of land that is degraded over total land area*.
339. UNDP (2017): *Achieving Land Degradation Neutrality for People and Planet*.
340. UNEP (2004): *Decisions adopted by the conference of the parties to the convention on biological diversity at its sixth meeting*, Report on the Sixth Meeting of the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity (UNEP/CBD/COP/6/20/Part 2) Strategic Plan Decision VI/26
341. UNFPA (2004): *State of World Population 2004: The Cairo Consensus at Ten: Population, Reproductive Health and the Global Effort to End Poverty: Chapter 4. Migration and Urbanization*. United Nations Population Fund, New York.
342. United Nations (2000): *World Urbanization Prospects (the 1999 revision)*. Population Division, Department of Economic and Social Affairs, United Nations, New York. 128 pp.
343. United Nations (2004): *World Urbanization Prospects (the 2003 revision)*. Population Division, Department of Economic and Social Affairs, United Nations, New York.
344. United Nations (2012): *World urbanization prospects: The 2011 revision. Presentation at the Center for Strategic and Urbanization*.

345. USEPA (1994): *SWRRBWQ: Window's Interface User's Guide*; U.S. Environmental Protection Agency: Washington, DC, USA.
346. Valentin C. (2018): *Soils as a Key Component of the Critical Zone 5: Degradation and Rehabilitation*, John Wiley & Sons, 2018, ISBN1786302195.
347. Van der Knijff J., Jones R.J.A, Montanarella L. (2000): *Soil erosion risk assessment in Italy*. European Soil Bureau, Joint Research Center of European Commission. EUR 19022EN http://eusoiils.jrc.ec.europa.eu/esdb_archive/pesera/pesera_cd/pdf/ItalyErosValidation.pdf
348. Van der Knijff J.M., Jones R.J.A., Montanarella L. (1999): *Soil erosion risk assessment in Italy*. European Soil Bureau. EUR 19022 EN, 52pp.
349. Van Lynden G.W.J. (1995): *European Soil Resources*. Nature and Environment No. 71. Council of Europe, Strasbourg.
350. Van Oost K., Govers G., Desmet P. (2000): *Evaluating the effects of changes in landscape structure on soil erosion by water and tillage*. Landsc. Ecol. 2000, 15, 577–589.
351. Van Remortel R.D., Hamilton M.E., Hickey R.J. (2001): *Estimating the LS Factor for RUSLE through iterative slope length processing of digital elevation data within ArcInfo Grid*. Cartography, 30: 27–35.
352. Van Remortel R.D., Maichle R.W., Hickey R.J. (2004): *Computing the LS factor for the Revised Universal Soil Loss Equation through array-based slope processing of digital elevation data using a C++ executable*. Computers & Geosciences, 30: 1043–1053.
353. Vatandaşlar C., Yavuz M. (2017): *Modeling cover management factor of RUSLE using very high-resolution satellite imagery in a semiarid watershed*. Environ. Earth Sci. 76, 267. <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-017-6388-0>.
354. Veldkamp A., Fresco L. (1996): *CLUE: a conceptual model to study the conversion of land use and its effects*. Ecological Modelling, 85(2), 253–270.
355. Veldkamp A., Kok K., De Koning G.H.J., Schoorl J.M., Sonneveld M.P.W., Verbur P.H. (2001): *Multi-scale system approaches in agronomic research at the landscape level*, Soil & Tillage Research 58 (2001) 129±140
356. Viney N., Sivapalan M. (1999): *A conceptual model of sediment transport: Application to the Avon River Basin in Western Australia*. Hydrol. Process. 1999, 13, 727–743.
357. Visser H., De Nijs T. (2006): *The Map Comparison Kit*. Environmental Modelling & Software, 21(3): 346–358.
358. Vrieling A. (2006): *Satellite remote sensing for water erosion assessment: A review*. Catena, 65(1), 2–18.
359. Wainwright J., Parsons A.J., Michaelides K., Powell D.M., Brazier R. (2003): *Linking short and long term soil erosion modelling. In: Long Term Hillslope and Fluvial System Modelling. Concepts and Case Studies from the Rhine River Catchment*. Springer-Verlag, Bonn, Germany.
360. Wang Y. L., Xiao Y., Rao E. M., Jiang L., Xiao Y., Ouyang Z. Y. (2018): *An Assessment of the Impact of Urbanization on Soil Erosion in Inner Mongolia*, Int. J. Environ. Res. Public Health 2018, 15, 550; doi: 10.3390/ijerph15030550
361. Wheeler H.S., Jakeman A.J., Beven K.J. (1993): *Progress and Directions in Rainfall-Runoff Modelling*; FAO: Rome, Italy.
362. Williams J.R. (1975): *Sediment-yield prediction with universal equation using runoff energy factor*. In Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yields and Sources, (Proceedings of the Sediment-Yield Workshop, USDA Sedimentation Laboratory, Oxford, Mississippi, November 28-30). 244-252.
363. Williams J.R. (1995): *The EPIC model*. In: Singh VP, editor. Computer models of watershed hydrology, Chapter 25. Water Resources Publications; 1995. p. 909–1000.
364. Williams J.R., Jones C.A. Dyke P.T. (1984): *The EPIC model and its application*. In *Proceedings of the International Symposium on Minimum Data Sets for Agrotechnology Transfer*, Patancheru, India, 21–26 March 1984; pp. 111–121.

365. Wischmeier W.H, Smith D.D (1978): *Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning*. USDA Agriculture Handbook No. 537, 285–291. <http://doi.org/10.1029/TR039i002p00285>
366. Wischmeier W.H., Smith, D.D. (1965): *Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains: Guide for selection of practices for soil and water conservation*. USDA Agric. Hdbk. No. 282.
367. Woolhiser D., Smith R.E., Goodrich D.C. (1990): *KINEROS, a Kinematic Runoff and Erosion Model: Documentation and User Manual*; U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service: Washington, DC, USA, 1990; p. 130.
368. Wu J., Jones K.B., Li H., Loucks O.L. (2006): *Scaling and Uncertainty Analysis in Ecology: Methods and Applications*, 3–15. Springer. Printed in the Netherlands.
369. Wulder M.A., Franklin S.E., White J.C., Linke J., Magnussen S. (2006): *An accuracy assessment framework for large-area land cover classification products derived from medium-resolution satellite data*. Int. J. Remote Sens. 27 (4), 663–683.
370. Xiao Q., McPherson W.G. (2003): *Rainfall interception by Santa Monica's municipal urban forest*. Urban Ecosystems 6: 291–302.
371. XP-SOFTWARE (1999): *XP-AQUALM-Technical Descriptio*; XP Software: Canberra Australia.
372. Xu H. (2006): *Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery*, International Journal of Remote Sensing, Vol. 27, No. 14, pp. 3025–3033, ISSN 0143-1161
373. Young N.E., Anderson R.S., Chignell S.M., Vorster A.G., Lawrence R., Evangelista P.H. (2017): *A survival guide to Landsat preprocessing*. Ecology, 98, 920–932.
374. Young R., Mutchler C. (1977): *Erodibility of some Minnesota soils*. J. Soil Water Conserv; 32(3):180–2.
375. Young R.A., Onstad C.A., Bosch D.D., Anderson W.P. (1989): *AGNPS: A nonpoint-source pollution model for evaluating agricultural watersheds*. J. Soil Water Conserv. 1989, 44, 168 173.
376. Yousefi S., Kivarz M.N., Ramezani B., Rasoolzadeh N., Naderi N., Mirzaee S. (2014): *An Estimation of Sediment by Using Erosion Potential Method and Geographic Information Systems in Chamgardalan Watershed: A Case Study of Ilam Province, Iran*. Geodynamics Research International Bulletin-GRIB, Vol. (2), No. 02, SN: 05. ISSN 2345- 4997
377. Zdruli P., Karydas C.G., Dedaj K., Salillari I., Cela F., Lushaj S., Panagos P. (2016): *High resolution spatiotemporal analysis of erosion risk per land cover category in Korçe region, Albania*. Earth Science Informatics, 9(4): 481-495
378. Zemljic M. (1971): *Calculation of sediment load. Evaluation of vegetation as anti-erosive factor*. Proceedings of the international symposium Interpraevent, Villach (Australia).
379. Zevenbergen L. W., Thorne C. R. (1987): *Quantitative analysis of land surface topography, Earth surface processes and landforms* 12, 47-56.
380. Zhang H., Yang Q., Li R., Liu Q., Moore D., He P., Ritsema C.J., Geissen V. (2013): *Extension of a GIS procedure for calculating the RUSLE equation LS factor*. Computers & Geosciences, 52: 177–188.
381. Zhang S., Chen H., Fu Y., Niu H., Yang Y. Zhang B. (2019): *Fractional Vegetation Cover Estimation of Different Vegetation Types in the Qaidam Basin*, Sustainability 2019, 11, 864; doi:10.3390/su11030864
382. Zhang W., Zhou J., Feng G., Weindorf D.C., Hu G., Sheng J. (2015): *Characteristics of water erosion and conservation practice in arid regions of Central Asia: Xinjiang Province, China as an example*. International Soilless and Water Conservation Research.
383. Zhang X., Wenhong C., Qingchao G., Sihong W. (2010): *Effects of land use change on surface runoff and sediment yield at different watershed scales on the Loess Plateau*. International Journal of Sediment Research, 25(3), 283–293.

384. Zhao H., Li X., Wang X., Tian D. (2010): *Grain size distribution of road-deposited sediment and its contribution to heavy metal pollution in urban runoff in Beijing, China*. Journal of Hazardous Materials, 183(1-3), 203-210. doi:10.1016/j.jhazmat.2010.07.012
385. Zhu C., Li Y. (2014): *Long-term hydrological impacts of land use/land cover change from 1984 to 2010 in the Little River Watershed, Tennessee*. International Soilless and Water Conservation Research, 2(2), 11–21.
386. Zhu Z., Fu Y., Woodcock C.E., Olofsson P., Vogelmann J.E., Holden C., Wang M., Dai S., Yu Y. (2016): *Including land cover change in analysis of greenness trends using all available Landsat 5, 7, and 8 images: A case study from Guangzhou, China (2000–2014)*. Remote Sens. Environ. 2016, 185, 243–257
387. Zhu, A.X., Wang R., Qiao J., Qin C.Z., Chen Y., Liu J., Du F., Lin Y., Zhu T. (2014): *An expert knowledge-based approach to landslide susceptibility mapping using GIS and fuzzy logic*. Geomorphology. 214: 128–138.
388. Zingg A.W. (1940): *Degree and length of land slope as it affects soil loss in runoff*. Agric. Eng., 21: 59-64.
389. Zinn J. (1997): *After the 1996 farm bill—challenges of change*. J. Soil Water Conserv. 52 (3), 147– 150.
390. Zorn M., Komac B. (2008): *Response of Soil Erosion to Land Use Change with Particular Reference to the Last 200 Years (Julian Alps, Western Slovenia)*, AG Regional Conference on Geomorphology: Landslides, Floods and Global Environmental Change in Mountain Regions”, September 15-25, 2008, Braşov, Romania.
391. Zorn M., Komac B., Gabrovec M. (2007): *Influence of land use changes on erosion in the Slovenian Alps*, MAN IN THE LANDSCAPE ACROSS FRONTIERS – IGU-LUCC CENTRAL EUROPE CONFERENCE 2007 – PROCEEDINGS
392. Životić Lj., Perović V., Jaramaz D., Đorđević A., Petrović R., Todorović M. (2012): *Application of USLE, GIS, and Remote Sensing in the Assessment of Soil Erosion Rates in South-Eastern Serbia*. Polish Journal of Environmental Studies 21 (6): 1929-1935.
393. Žižala D., Juřicová A., Zádorová T., Zelenková K., Minařík R. (2018): *Mapping soil degradation using remote sensing data and ancillary data: South-East Moravia, Czech Republic*, European Journal of Remote Sensing, DOI: 10.1080/22797254.2018.1482524
394. Барјактаровић М. (2012): *Метод за детекцију ивица дефеката у процесу производње картона применом wavelet трансформације*, докторска дисертација, Универзитет у Београду, Електротехнички факултет
395. Вулевић Т. (2017): *Вишекритеријумско одлучивање у функцији конзервације земљишних и водних ресурса брдско-планинских подручја централне Србије*, докторска дисертација, Универзитет у Београду, Шумарски факултет
396. Вучићевић Д. (1995): *Уређење бујичних токова- приручник за бујичаре*, Друштво бујичара Југославије, Београд.
397. *године*. Службени гласник Републике Србије 88/2010-4; ЈП „Службени гласник“, Београд.
398. Ђорђевић А., Кнежевић М., Томић З., Голубовић С., Оџија А., Животић Љ., Николић Н. (2011): *Методологија за систематско праћење квалитета и стања земљишта у Републици Србији*. Универзитет у Београду, Пољопривредни факултет, Земун
399. Ђурђевић В., Вуковић А., Вујадиновић-Мандић М. (2018): *Извештај о осмотреним променама климе у Србији и пројекцијама будуће климе на основу различитих сценарија будућих емисија из 2018. године*, Програм Уједињених нација за развој (UNDP)
400. Иконовић В. (2007): *Картографско моделовање-улога и значај*. Зборник радова Географског института "Јован Цвијић" САНУ, Књига 57 стр. 443-450.
401. Јовановић Б., Јовановић Р., Зупанчич М. (1983): *Карта природне потенцијалне вегетације СФР Југославије, 1:1.000.000*. Научно веће Вегетацијске карте Југославије. ВГИ. Београд

402. Јовановић Д. (2015): *Модел објектно оријентисане класификације у идентификацији геопросторних објеката*, докторска дисертација, Факултет Техничких Наука у Новом Саду, Универзитет у Новом Саду.
403. Костадинов С. (2008): *Бујични токови и ерозија*, Шумарски факултет Универзитета у Београду, Београд.
404. Лазаревић Р. (2009): *Ерозија у Србији*, Желнид, ISBN 978-86-7307-209-8
405. Лазаревић Р. (2010): *Ерозија у Босни и Херцеговини*, Желнид, ISBN 978-86-7307-216-6
406. Милановић М., Љешевић М. (2009): *Теледетекционе меоде истраживања животне средине*. Географски факултет Универзитет у Београду.
407. Миљковић П. (2020): *Утицај начина коришћења земљишта на квалитет суспендованог наноса у сливу реке Расине*, докторска дисертација, Универзитет у Београду, Шумарски факултет
408. Министарство грађевинарства, саобраћаја и инфраструктуре Републике Србије (МГСИ) (2021): *Просторни план Републике Србије од 2021. до 2035. године-Нацрт*, Београд
409. Министарство заштите животне средине Републике Србије (МЗЖС) (2019): *Извештај о примењеној методологији и идентификацији циљева за успостављање неутралности деградације земљишта у Републици Србији*, Београд.
410. Минчев И. (2014): *Развој на методологија за утврђување заштитни зони околу водна акумулација од аспект на ерозијата и транспортот на нанос*, докторска дисертација, Универзитет „Св. Кирил и Методиј“ – Скопје, Шумарски факултет во Скопје.
411. Никић З., Радић Б., Васиљевић Н., и сар. (2020): *Геоморфолошки облици рељефа АПР Београда за потребе пројекта Типологија предела за потребе одрживог развоја града Београда у складу са принципа Европске конвенције о пределима*, Универзитет у Београду Шумарски факултет.
412. Перовић В. (2015): *Процена потенцијалне ерозије земљишта применом USLE и PESERA модела на подручју слива акумулације Првонек*, докторска дисертација, Шумарски факултет, Београд.
413. Половина С., Радић Б., Ристић Р., Милчановић В. (2016): *Просторна и временска анализа деградације природних ресурса на сливу реке Ликодре*, Гласник Шумарског факултета 114, Универзитет у Београду - Шумарски факултет, Београд (169-188), DOI:10.2298/GSF1614169P
414. Протић Д. (2013): *Квантитативно картографско моделирање земљишног покривача*, докторска дисертација, Универзитет у Београду, Грађевински факултет, УДК број: 528.94:502 (043.3)
415. Радић Б. (2014): *Ерозија као фактор деградације предела у скијашким центрима Србије*, докторска дисертација. Шумарски факултет, Универзитет у Београду, УДК: 502.17 : [796.9:551.3.053 (497.11)(043.3)]
416. Радић Б. (2019): *Предеона екологија - практикум*, Универзитет у Београду, Шумарски факултет, ISBN 978-86-7299-303-5
417. Радоњић Ј. (2018): *Хидролошки и псамолошки ефекти противерозионих радова на бујичним подсливовима Јужне Мораве*, докторска дисертација, Универзитет у Београду, Шумарски факултет
418. Ристић Р. и сар. (2014а): *Плаво-зелени коридори-Истраживање могућности ревитализације слива потока Паригуз и околних шумских површина*, Шумарски факултет, Београд, 2014.
419. Ристић Р. и сар. (2014б): *Истраживање и валоризација и заштита дела простора Аде Циганлије*, Шумарски факултет, Београд, 2014.
420. Ристић Р. и сар. (2014в): *Плаво-зелени коридори-Истраживање могућности ревитализације слива Раковичког потока и околних шумских површина*, Шумарски факултет, Београд, 2014.

421. Ристић Р. и сар. (2019): „Плаво-зелени“ коридори - Истраживање могућности ревитализације слива потока Пречица и околних шумских површина, Шумарски факултет, Београд.
422. Ристић Р., Малашевић Д. (2011): *Хидрологија бујичних токова, уџбеник*. Издавач: Универзитет у Београду Шумарски факултет, Београд, стр. 1-221 (ISBN 978-86-7299-074-4).
423. Ристић Р., Милчановић В., Малашевић И, Половина С. (2016): *Бујичне поплаве и ерозија као доминантан фактор деградације земљишта у Србији – концепт превенције и заштите*. Деградација и заштита земљишта [Електронски извор]: тематски зборник, Универзитет у Београду, Шумарски факултет ISBN 978-86-7299-242-7
424. Ристић Р., Никић З. (2007): *Одрживост система за водоснабдевање Србије са аспекта угрожености ерозионим процесима*. Водопривреда бр. 225-227 (ISSN: 0350-0519), стр. 47-57, Београд.
425. Ристић Р., Радић Б, Николић В., Половина С., Малашевић И., Милчановић В. (2020): *Глобални трендови у превенцији природних катастрофа и заштити животне средине на примеру Србије, ЗНАЧАЈ развојних истраживања и иновација у функцији унапређења пољопривреде и шумарства Србије* : радови са научног скупа одржаног 04.11. 2020. године / [уредник Ратко Лазаревић]. - Београд : Академија инжењерских наука Србије - АИНС, Одељење биотехничких наука : Академска мисао, 2020 (Београд : Академска мисао). - 150 стр. ISBN 978-86-7466-854-2 (AM) COBISS.SR-ID 23855881
426. Ристић Р., Радић Б. (2011): *Пројекат ревитализације „плаво-зелених“ коридора на ујем градском подручју Београда (на примеру слива Каљавог потока)*, Шумарски факултет, Београд.
427. Ристић Р., Радић Б. (2012): „Плаво-зелени“ коридори-истраживања могућности ревитализације слива Железовачког потока и околних шумских површина, Шумарски факултет, Београд.
428. Ристић Р., Радић Б. (2013): *Пројекат истраживања и валоризације простора Милићевог брда и дунавских острва као потенцијално значајних природних вредности*, Шумарски факултет, Београд.
429. Ристић Р., Радић Б., Половина С., Милчановић В., Малашевић И. (2018): *Стручни елементи нацрта за правилник о садржини и начину израде Карте ерозије*, Министарство заштите животне средине Републике Србије
430. Самарцић-Петровић М. (2014): *Предвиђање промена у коришћењу земљишта применом модела вођених подацима (DATA-DRIVEN MODELS)*, докторска дисертација, Универзитет у Београду, Грађевински факултет, Београд
431. Сл. гласник РС (2009): *Закон о заштити животне средине*. Службени гласник Републике Србије 135/04 и 36/09; ЈП „Службени гласник“, Београд.
432. Сл. гласник РС (2015): *Закон о заштити земљишта*. Службени гласник Републике Србије 112/2015-59; ЈП „Службени гласник“, Београд.
433. Сл. гласник РС (2018): *Закон о водама*. Службени гласник Републике Србије 30/2010, 93/2012, 101/2016 и 95/2018; ЈП „Службени гласник“, Београд.
434. Сл. гласник РС. (2010): *Закон о Просторном плану Републике Србије од 2010. до 2020.*
435. Сл. гласник РС. (2020): *Закон о планирању и изградњи*. Службени гласник Републике Србије 72/2009, 81/2009, 64/2010, 24/2011, 121/2012, 42/2013, 50/2013, 98/2013, 132/2014, 145/2014, 83/2018, 31/2019, 37/2019-3 (др. закон) и 9/2020-3; ЈП „Службени гласник“, Београд.
436. Сл.лист града Београда (2016): *Генерални урбанистички план Београда*, број 11/2016 ISSN 0350-4727
437. Стричевић Р., Продановић С., Ђуровић Н., Обрадовић Петровић О., Ђуровић Н (2019): *Извештај утицаја осматрених климатских промена на пољопривреду у Србији и*

- пројекције утицаја будуће климе на основу различитих сценарија будућих емисија, ISBN 978-86-7728-262-2, COBISS.SR-ID 281167372*
438. Тодосијевић М. (2012): *Еколошки и економски ефекти одрживог управљања земљишним ресурсима планинског подручја општине Љубовија*, докторска дисертација, Шумарски факултет, Београд.
 439. Триван Г. (2018): *Заштита од ерозије и бујичних поплава као елемент система заштите животне средине на територији града Београда*, докторска дисертација, Универзитет у Београду, Шумарски факултет
 440. Универзитет у Београду Шумарски факултет, Институт за водопривреду Јарослав Черни (2005): *Планови за проглашење ерозионих подручја и одбрану од бујичних поплава на територији града Београда*, Шумарски факултет и институт "Јарослав Черни", Београд.
 441. Ункашевић М. (1994): *Клима Београда*, Научна књига, Београд.
 442. Урбанистички завод Београда (2016): *ГУП2021, Генерални урбанистички план Београда*

ИНТЕРНЕТ СТРАНИЦЕ

1. <https://eos.com/blog/high-resolution-images-are-close-as-never-before/>
(Приступљено 13.11.2021.)
2. EU-DEM.: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/eu-dem>
(Приступљено 22.12.2021.)

9. ПРИЛОЗИ

ПРИЛОГ А

Табела А.1.1. Анализа интензитета ерозионих процеса применом МПЕ, на подручју градских општина у обухвату ГУП-а

Градске Општине	2001				2019			
	MIN ²	MAX ³	MEAN ⁴	STD ⁵	MIN	MAX	MEAN	STD
Раковица	0,04	57,19	5,37	4,43	0,05	72,12	4,69	4,39
Вождовац	0,03	62,79	5,10	5,27	0,03	79,08	4,99	5,64
Чукарица	0,03	64,48	4,33	3,82	0,03	82,32	4,48	4,40
Гроцка	0,02	34,64	4,98	4,03	0,02	46,48	4,76	4,22
Врачар	–	–	–	–	–	–	–	–
Звездара	0,02	46,96	4,02	3,45	0,02	46,51	3,87	4,18
Савски венац	–	–	–	–	–	–	–	–
Стари град	–	–	–	–	–	–	–	–
Нови Београд	0,02	21,10	2,33	1,64	0,02	17,72	2,47	1,88
Сурчин	0,02	20,49	2,25	1,16	0,02	24,19	2,62	1,47
Земун	0,02	10,08	2,03	1,08	0,02	11,84	2,31	1,18
Палилула	0,02	73,47	3,32	3,25	0,02	76,96	3,43	3,16

Табела А.1.2. Анализа интензитета ерозионих процеса применом RUSLE, на подручју градских општина у обухвату ГУП-а

Градске Општине	2001				2019			
	MIN	MAX	MEAN	STD	MIN	MAX	MEAN	STD
Раковица	0,001	124,50	7,60	10,91	0,01	102,63	6,19	9,10
Вождовац	0,001	137,66	7,28	10,77	0,008	121,19	7,59	11,06
Чукарица	0,001	156,58	5,65	8,32	0,008	147,28	5,70	7,99
Гроцка	0,001	274,62	11,03	13,14	0,009	311,06	11,18	14,25
Врачар	–	–	–	–	–	–	–	–
Звездара	0,001	156,51	8,82	9,68	0,011	93,71	8,00	9,61
Савски венац	–	–	–	–	–	–	–	–
Стари град	–	–	–	–	–	–	–	–
Нови Београд	0,001	65,74	0,85	2,09	0,011	35,62	0,88	1,76
Сурчин	0,001	67,37	0,59	1,50	0,009	78,23	0,64	1,73
Земун	0,001	122,86	1,12	4,61	0,008	129,74	1,19	3,61
Палилула	0,001	164,77	2,37	7,07	0,008	136,46	2,30	6,85

Табела А.1.3. Анализа интензитета ерозионих процеса применом G2, на подручју градских општина у обухвату ГУП-а

Градске Општине	2001				2019			
	MIN	MAX	MEAN	STD	MIN	MAX	MEAN	STD
Раковица	0,001	151,73	8,60	10,84	0,002	113,64	7,33	9,51
Вождовац	0,001	145,00	7,54	9,31	0,001	108,43	7,09	8,71
Чукарица	0,001	200,86	5,63	7,94	0,001	118,40	4,82	6,82
Гроцка	0,001	167,78	9,53	9,89	0,002	193,11	9,10	9,93
Врачар	–	–	–	–	–	–	–	–
Звездара	0,001	98,42	8,29	7,50	0,002	118,37	7,37	7,62
Савски венац	–	–	–	–	–	–	–	–
Стари град	–	–	–	–	–	–	–	–
Нови Београд	0,002	52,22	0,18	1,74	0,002	50,39	0,37	2,52
Сурчин	0,001	54,49	0,11	1,17	0,002	54,45	0,10	0,98
Земун	0,001	188,18	0,42	4,56	0,002	139,50	0,38	3,74
Палилула	0,002	120,85	2,10	6,12	0,001	138,61	1,72	5,15

² MIN-минимална вредност губитака земљишта, изражена у $t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$

³ MAX-максимална вредност губитака земљишта, изражена у $t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$

⁴ MEAN-просечна вредност губитака земљишта, изражена у $t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$

⁵ STD-стандардна девијација вредности губитака земљишта

Табела А.2.1. Анализа интензитета ерозионих процеса применом МПЕ, на катастарским општинама у обухвату ГУП-а

Катастарске општине	2001				2019			
	MIN	MAX	MEAN	STD	MIN	MAX	MEAN	STD
Сремчица	0,03	64,47	4,15	4,18	0,03	82,31	4,39	5,17
Пиносава	0,03	26,00	5,28	4,34	0,03	79,08	5,32	5,31
Зуце	0,04	49,00	5,50	5,16	0,04	60,55	6,74	6,43
Бели поток	0,03	62,78	4,89	5,75	0,03	72,35	4,05	5,52
Раковица Село	0,06	49,32	7,41	6,52	0,05	45,09	5,50	4,55
Ресник	0,04	57,18	5,33	4,44	0,04	72,11	4,84	4,46
Кнежевац	0,04	23,65	5,46	4,40	0,04	29,23	4,23	4,14
Железник	0,03	36,14	5,35	3,87	0,03	35,12	5,07	4,21
Остружница	0,03	18,49	3,91	3,19	0,03	21,26	4,54	3,93
Лештане	0,03	22,87	5,71	4,47	0,04	26,55	5,55	4,94
Јајинци	0,04	16,50	3,89	3,28	0,09	18,52	3,78	3,54
Ритопек	0,03	14,33	4,30	2,66	0,03	16,86	4,43	2,78
Кумодраж	0,05	59,40	3,92	4,72	0,05	70,06	4,01	5,45
Калуђерица	0,11	34,63	7,19	5,57	0,07	46,48	7,07	6,36
Стара Раковица	0,13	15,43	5,87	4,17	0,10	22,03	3,82	3,45
Велики Мокри Луг	0,06	33,46	4,55	4,48	0,07	46,51	4,96	5,38
Мали Мокри Луг	0,06	46,95	4,00	3,53	0,03	41,93	3,74	4,17
Вождовац	0,18	12,20	4,59	3,40	0,23	12,04	2,55	2,14
Чукарица	0,03	32,68	2,49	2,83	0,03	15,79	2,94	3,23
Винча	0,02	19,06	4,04	3,62	0,02	22,41	4,38	3,97
Врачар	–	–	–	–	–	–	–	–
Миријево	0,02	12,51	3,61	2,19	0,02	15,37	3,14	2,77
Звездара	0,78	4,09	1,43	0,98	0,85	1,79	1,13	0,24
Савски венац	–	–	–	–	–	–	–	–
Сланци	0,02	73,46	5,74	7,83	0,03	76,96	4,96	6,56
Палилула	1,05	3,48	1,53	0,71	1,16	2,93	1,71	0,50
Стари град	–	–	–	–	–	–	–	–
Нови Београд	0,020	21,10	2,32	1,64	0,02	17,72	2,47	1,87
Велико село	0,05	20,80	4,10	3,19	0,03	27,35	3,32	3,34
Вишњица	0,02	47,16	2,84	2,97	0,02	56,77	3,08	3,05
Земун	0,02	9,63	1,49	2,18	0,02	10,38	0,58	0,82
Крњача	0,03	9,70	2,34	3,02	0,03	13,43	1,59	2,35
Земун поље	0,02	7,73	1,84	0,93	0,02	8,13	2,32	1,01
Борча	0,03	13,09	2,95	2,27	0,03	15,29	3,37	2,56
Велика Моштаница	0,03	29,01	5,25	3,55	0,03	33,05	5,21	4,22
Рушањ	0,03	27,59	4,01	4,15	0,03	21,17	2,98	3,75
Умка	0,03	57,82	5,18	3,97	0,031	68,16	6,51	4,86
Врчин	0,03	5,76	1,04	0,89	0,031	7,58	1,54	1,62
Болеч	0,03	18,59	5,91	4,32	0,03	22,57	4,55	4,52
Сурчин	0,02	20,48	2,24	1,29	0,02	24,18	2,60	1,64
Добановци	0,02	12,72	2,28	0,69	0,02	16,46	2,67	0,87
Овча	0,03	10,88	3,08	2,02	0,03	12,67	3,40	2,29
Батајница	0,03	10,08	2,21	1,02	0,03	11,83	2,46	1,20
Ковилово	0,03	8,84	3,61	2,38	0,03	9,79	4,37	2,72

Табела А.2.2. Анализа интензитета ерозионих процеса применом RUSLE, на катастарским општинама у обухвату ГУП-а

Катастарске општине	2001				2019			
	MIN	MAX	MEAN	STD	MIN	MAX	MEAN	STD
Сремчица	0,001	118,33	5,73	8,53	0,01	134,41	6,40	8,92
Пиносава	0,001	137,66	7,83	11,02	0,01	83,90	7,61	10,00
Зуце	0,001	89,51	8,93	12,60	0,01	107,76	10,99	14,39
Бели поток	0,001	113,17	6,96	11,14	0,01	121,19	6,32	10,12
Раковица село	0,001	92,72	8,74	9,14	0,01	60,26	6,38	7,87
Ресник	0,001	103,57	7,11	10,32	0,01	99,91	5,94	8,65
Кнежевац	0,001	124,50	9,34	12,82	0,01	102,63	7,14	10,57
Железник	0,001	99,48	5,57	7,50	0,01	89,75	4,72	6,34
Остружница	0,001	75,83	3,44	5,74	0,01	83,98	4,00	6,40
Лештане	0,001	86,27	9,26	11,97	0,01	106,61	9,21	11,64
Јајинци	0,001	65,22	4,51	5,50	0,01	54,18	4,77	6,21
Ритопек	0,001	274,62	16,29	15,92	0,01	311,06	16,93	18,17
Кумодраж	0,001	86,38	5,35	8,98	0,01	98,03	6,76	10,02
Калуђерица	0,001	89,16	10,57	11,23	0,01	99,06	10,17	11,34
Стара Раковица	0,012	43,80	7,45	8,27	0,06	71,64	5,78	8,52
Велики Мокри Луг	0,001	146,47	7,19	9,47	0,01	93,71	8,65	11,40
Мали Мокри Луг	0,012	98,31	7,40	7,92	0,01	60,85	6,22	7,34
Вождовац	0,025	59,20	6,05	9,67	0,06	11,87	2,96	2,43
Чукарица	0,001	122,24	1,57	4,38	0,01	51,85	1,59	3,86
Винча	0,001	118,65	7,89	10,57	0,01	159,52	9,27	11,80
Врачар	–	–	–	–	–	–	–	–
Миријево	0,001	156,51	10,98	10,41	0,01	84,68	8,48	9,13
Звездара	0,776	6,09	1,80	1,46	0,77	3,45	1,67	0,60
Савски венац	–	–	–	–	–	–	–	–
Сланци	0,001	164,77	16,02	13,71	0,01	136,46	14,06	13,16
Палилула	0,045	5,22	2,38	1,57	1,38	12,24	4,94	2,46
Стари град	–	–	–	–	–	–	–	–
Нови Београд	0,001	65,74	0,85	2,09	0,01	35,62	0,88	1,76
Велико село	0,001	142,61	7,17	10,94	0,01	109,45	6,48	10,43
Вишњица	0,001	81,64	9,10	10,63	0,01	85,06	10,26	11,74
Земун	0,001	15,09	0,33	0,84	0,01	13,22	0,16	0,64
Крњача	0,001	2,67	0,15	0,20	0,01	5,78	0,12	0,18
Земун поље	0,001	65,75	0,68	1,27	0,01	58,59	0,82	1,49
Борча	0,001	6,15	0,27	0,31	0,01	7,25	0,31	0,36
Велика Мошганица	0,001	99,37	8,39	8,49	0,01	89,01	8,04	8,38
Рушањ	0,001	89,21	6,69	10,93	0,01	101,71	5,16	7,65
Умка	0,001	156,58	7,90	8,79	0,01	147,28	9,88	9,81
Врчин	0,001	23,65	0,66	1,38	0,01	17,68	1,22	2,40
Болеч	0,001	89,87	8,91	10,46	0,01	73,73	6,50	8,45
Сурчин	0,001	67,37	0,58	1,71	0,01	78,23	0,60	1,93
Добановци	0,001	15,37	0,61	0,72	0,01	26,98	0,73	1,06
Овча	0,001	7,05	0,24	0,22	0,01	6,76	0,25	0,22
Батајница	0,001	122,86	1,52	6,13	0,01	129,74	1,58	4,76
Ковилово	0,001	0,60	0,25	0,15	0,01	0,68	0,29	0,17

Табела А.2.3. Анализа интензитета ерозионих процеса применом G2, на катастарским општинама у обухвату ГУП-а

Катастарске општине	2001				2019			
	MIN	MAX	MEAN	STD	MIN	MAX	MEAN	STD
Сремчица	0,001	120,27	6,89	8,91	0,001	85,52	5,79	7,61
Пиносава	0,001	74,79	7,21	8,86	0,001	78,57	6,37	7,97
Зуце	0,001	96,21	9,08	11,57	0,002	100,76	8,92	11,17
Бели поток	0,001	145,00	7,77	9,63	0,002	108,43	6,99	8,56
Раковица село	0,002	74,42	7,06	7,74	0,002	54,91	5,82	6,35
Ресник	0,001	112,22	7,94	10,20	0,002	84,93	6,64	8,69
Кнежевац	0,001	151,73	11,01	12,77	0,002	113,64	9,91	11,81
Железник	0,002	95,90	4,29	6,94	0,002	77,19	3,24	5,54
Остружница	0,001	144,55	3,21	6,44	0,002	85,62	3,02	6,13
Лештане	0,002	100,15	9,05	10,59	0,003	138,79	9,01	10,71
Јајинци	0,002	66,09	5,99	5,93	0,002	52,48	5,23	5,47
Ритопек	0,002	167,79	13,07	11,42	0,002	193,11	13,45	11,76
Кумодраж	0,001	90,31	6,29	7,06	0,002	78,83	6,77	7,19
Калуђерица	0,001	71,42	9,49	8,13	0,002	67,36	8,44	7,89
Стара Раковица	0,002	44,91	7,91	8,30	0,003	52,16	6,63	7,49
Велики Мокри Луг	0,001	98,43	7,50	7,64	0,002	118,36	8,85	10,01
Мали Мокри Луг	0,002	76,43	7,47	5,91	0,002	40,62	5,98	5,31
Вождовац	0,018	16,17	4,56	4,42	0,014	18,72	4,95	4,52
Чукарица	0,002	200,86	1,11	4,72	0,002	75,69	1,07	4,02
Винча	0,002	102,45	7,57	8,49	0,002	114,43	7,12	8,02
Врачар	–	–	–	–	–	–	–	–
Миријево	0,001	91,97	9,41	8,11	0,002	69,94	7,03	6,38
Звездара	0,039	24,99	6,28	6,41	0,023	21,51	5,67	5,18
Савски венац	–	–	–	–	–	–	–	–
Сланци	0,003	84,05	13,42	10,02	0,002	74,08	10,39	8,16
Палилула	0,034	16,41	7,44	6,46	0,028	32,39	12,17	6,85
Стари град	–	–	–	–	–	–	–	–
Нови Београд	0,002	52,23	0,18	1,74	0,002	50,38	0,37	2,52
Велико село	0,003	76,47	6,60	8,73	0,003	75,63	5,06	7,34
Вишњица	0,003	120,85	11,49	10,61	0,003	138,61	9,84	10,02
Земун	0,002	34,58	0,14	1,55	0,002	37,91	0,13	1,54
Крњача	0,002	0,16	0,02	0,02	0,001	0,12	0,02	0,01
Земун поље	0,001	32,87	0,13	1,12	0,002	44,25	0,14	1,24
Борча	0,002	0,13	0,05	0,02	0,003	0,15	0,04	0,02
Велика Моштаница	0,001	86,57	7,64	7,08	0,002	71,39	6,51	6,15
Рушањ	0,001	92,15	8,47	9,63	0,002	77,25	6,37	7,56
Умка	0,001	130,80	7,64	7,99	0,002	118,41	7,54	7,62
Врчин	0,002	9,65	0,55	1,47	0,005	13,07	0,68	1,86
Болеч	0,001	103,81	7,49	7,72	0,002	72,45	5,47	6,10
Сурчин	0,001	54,49	0,14	1,36	0,002	54,45	0,11	1,09
Добановци	0,003	25,47	0,06	0,33	0,002	22,13	0,08	0,62
Овча	0,002	8,07	0,05	0,07	0,002	5,85	0,04	0,05
Батајница	0,002	188,18	0,66	6,09	0,002	139,50	0,60	5,00
Ковилово	0,002	0,18	0,04	0,02	0,002	0,16	0,05	0,02

Табела А.3.1. Анализа интензитета ерозионих процеса применом МПЕ, на просторним зонама у обухвату ГУП-а

Просторне зоне	2001				2019			
	MIN	MAX	MEAN	STD	MIN	MAX	MEAN	STD
Централна зона	0,07	9,63	1,56	2,47	0,08	10,38	0,74	0,90
Средња зона	0,02	37,10	2,81	3,23	0,02	26,77	2,26	2,75
Периферна зона	0,02	73,47	3,72	3,59	0,02	82,32	3,83	3,80

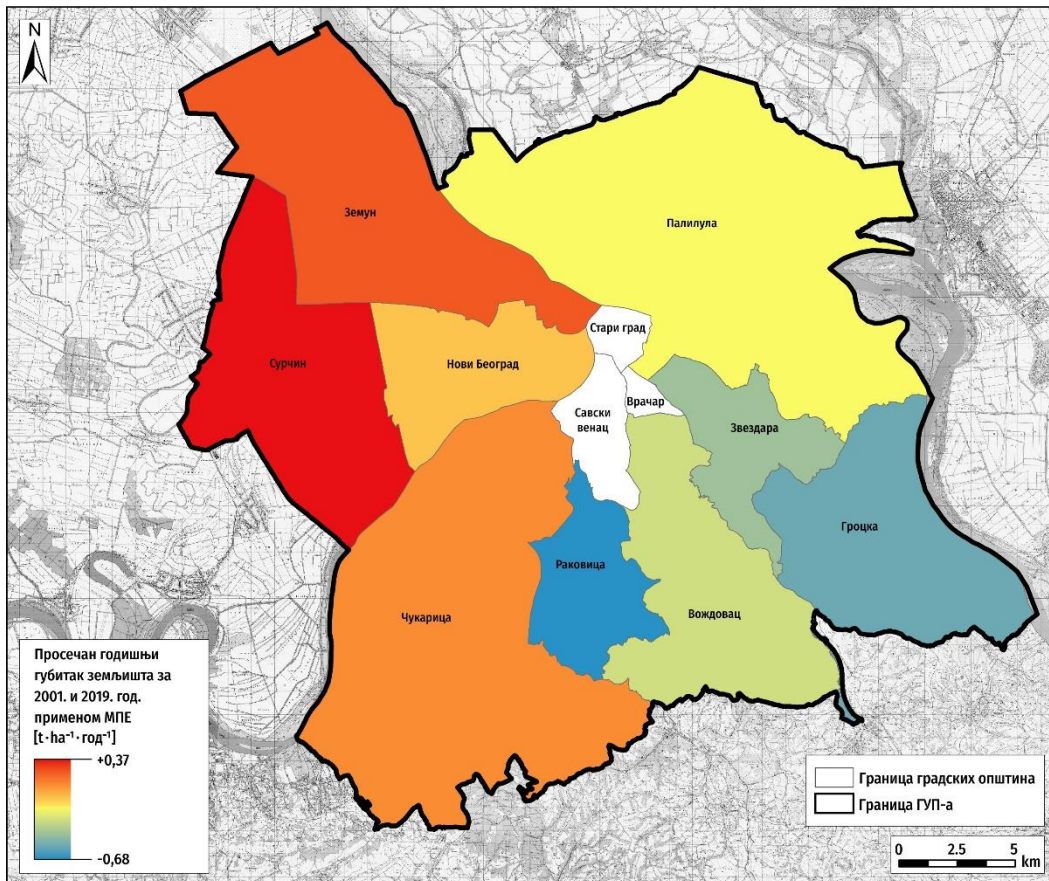
Табела А.3.2. Анализа интензитета ерозионих процеса применом RUSLE, на просторним зонама у обухвату ГУП-а

Просторне зоне	2001				2019			
	MIN	MAX	MEAN	STD	MIN	MAX	MEAN	STD
Централна зона	0,001	10,33	0,11	0,37	0,01	12,76	0,28	1,19
Средња зона	0,001	156,51	3,09	7,95	0,01	84,68	2,15	5,61
Периферна зона	0,001	274,62	4,52	8,84	0,01	311,06	4,51	8,85

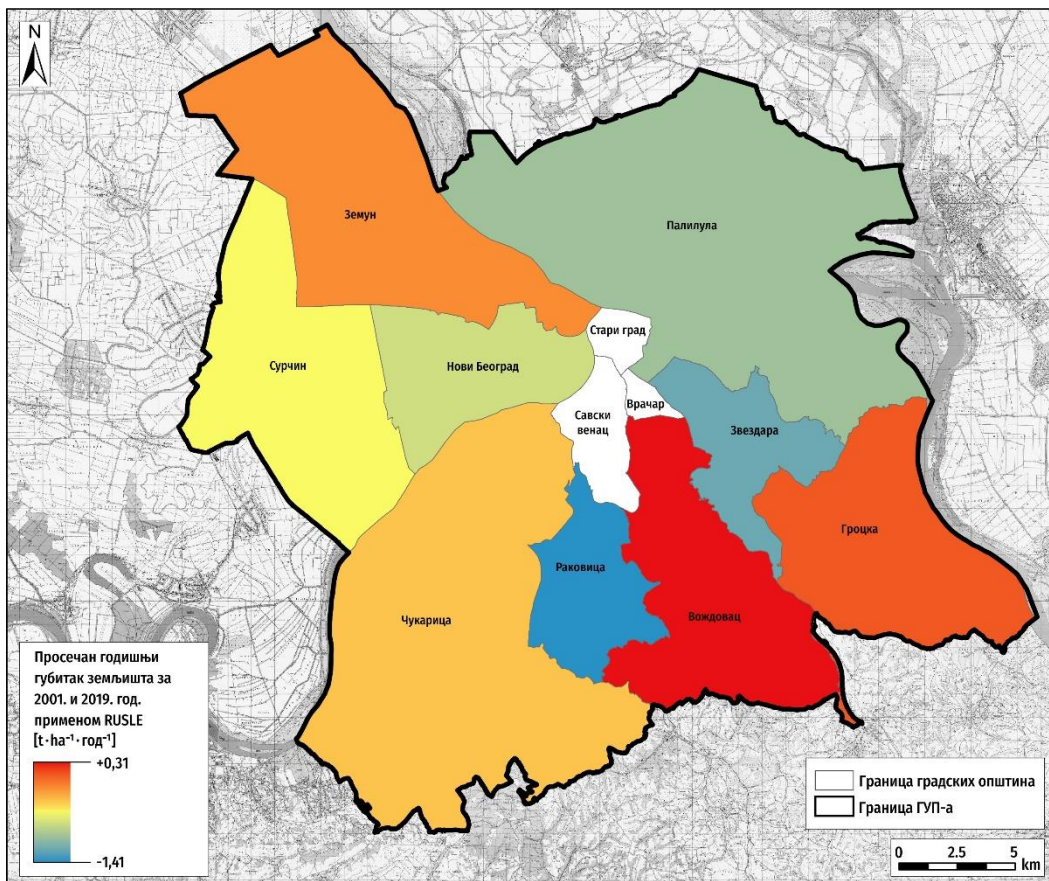
Табела А.3.3. Анализа интензитета ерозионих процеса применом G2, на просторним зонама у обухвату ГУП-а

Просторне зоне	2001				2019			
	MIN	MAX	MEAN	STD	MIN	MAX	MEAN	STD
Централна зона	0,002	34,15	0,07	1,092	0,002	36,992	0,355	2,369
Средња зона	0,002	200,86	3,05	7,525	0,002	113,640	2,522	6,087
Периферна зона	0,001	188,12	4,16	7,826	0,001	193,109	3,693	7,115

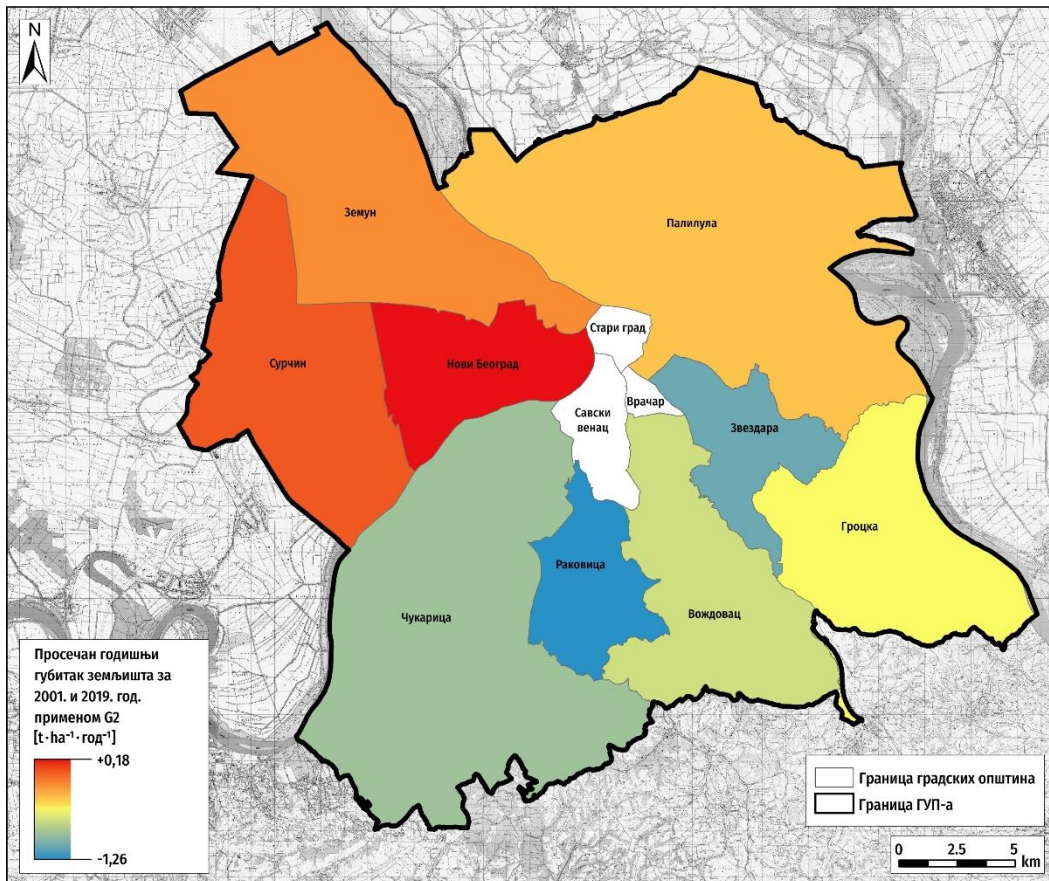
ПРИЛОГ Б



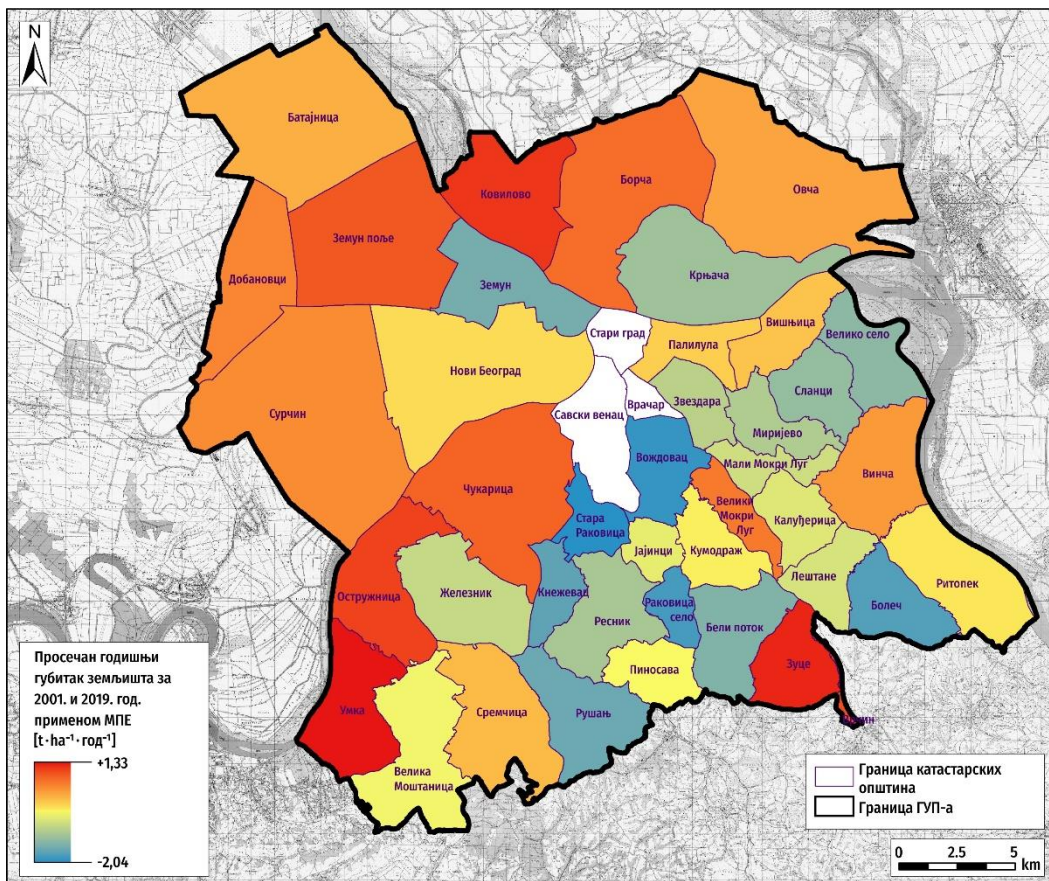
Слика Б.1.1. Просечан годишњи губитак земљишта за 2001. и 2019. годину, на простору градских општина у обухвату ГУП-а, добијен применом МПЕ



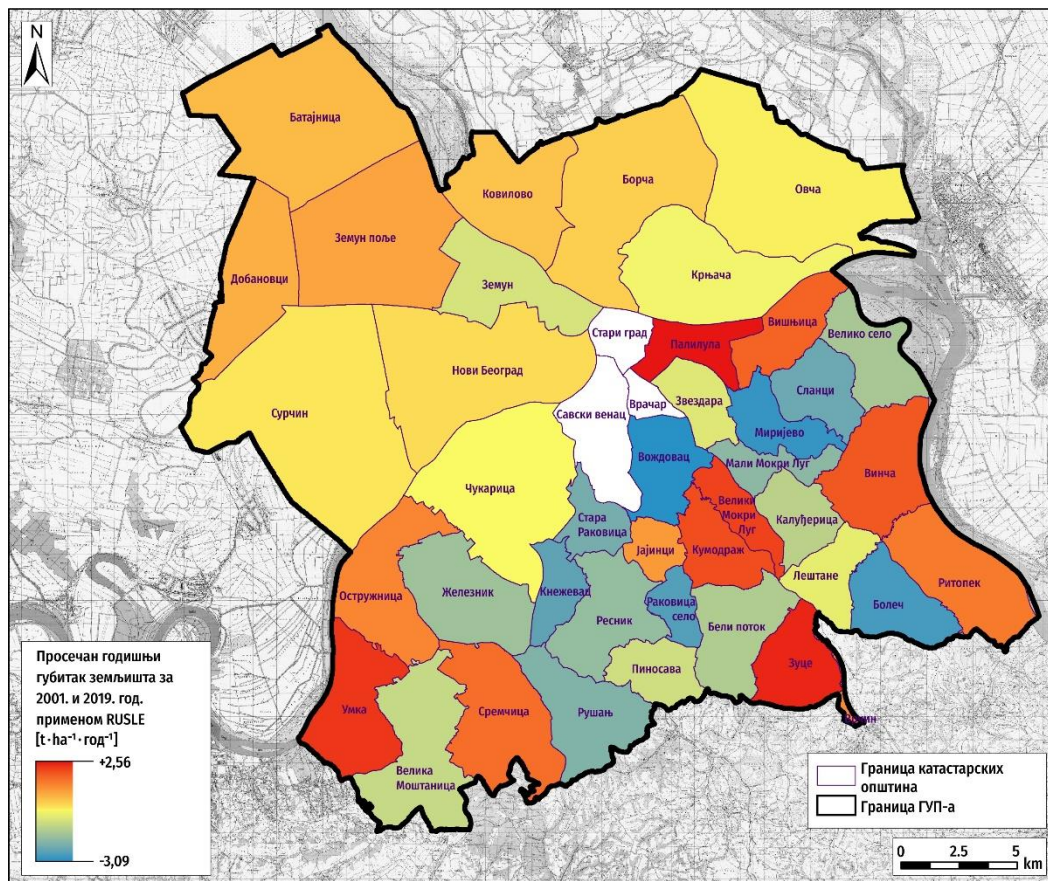
Слика Б.1.2. Просечан годишњи губитак земљишта за 2001. и 2019. годину, на простору градских општина у обухвату ГУП-а, добијен применом RUSLE



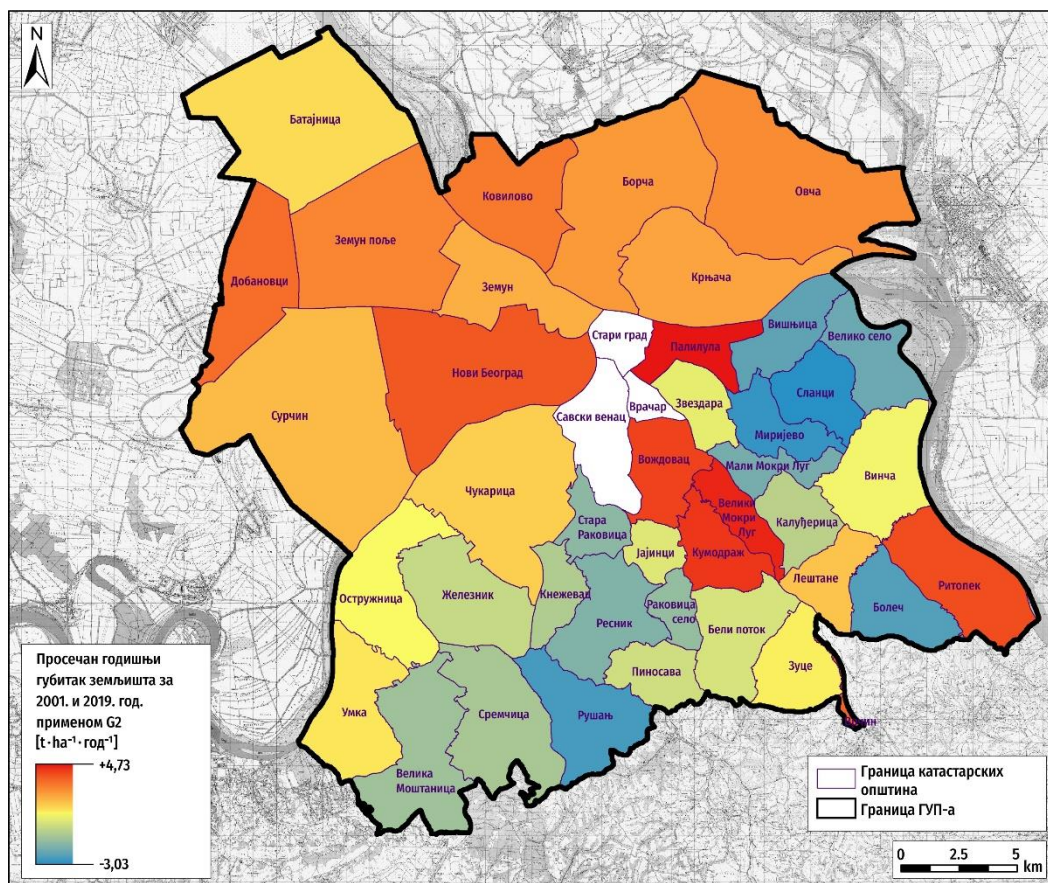
Слика Б.1.3. Просечан годишњи губитак земљишта за 2001. и 2019. годину, на простору градских општина у обухвату ГУП-а, добијен применом G2



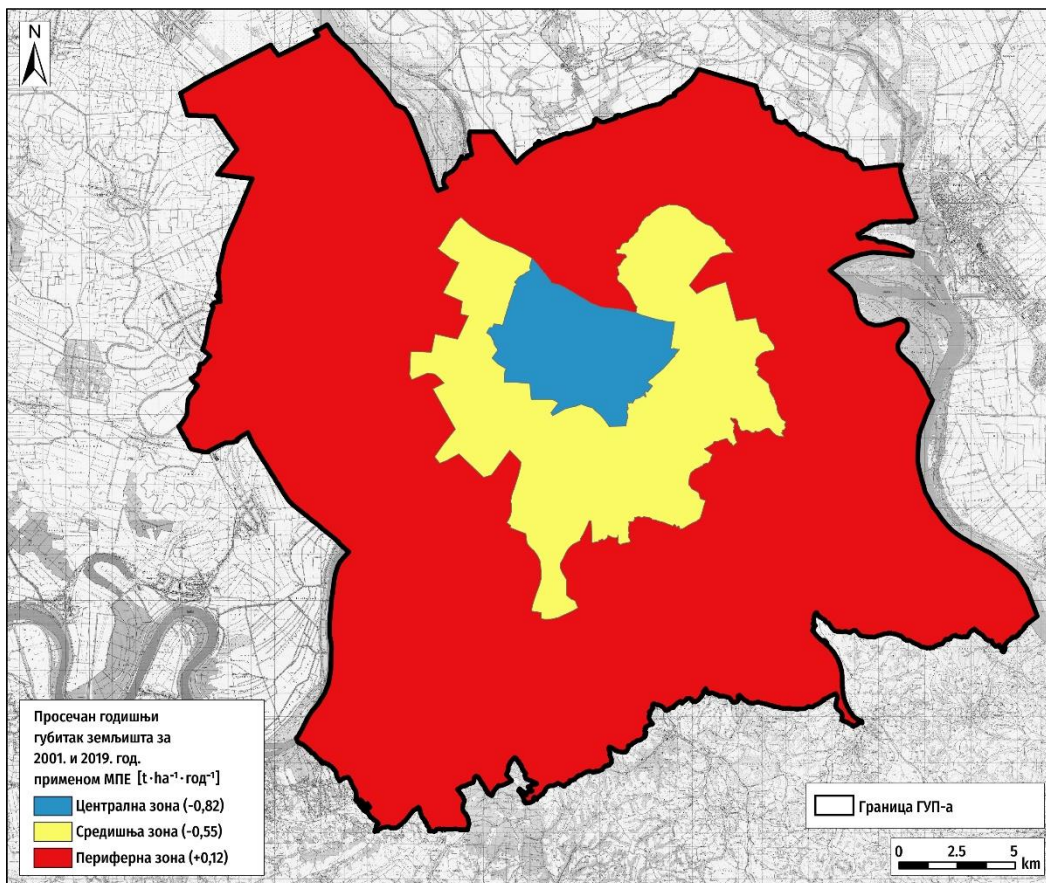
Слика Б.2.1. Просечан годишњи губитак земљишта за 2001. и 2019. годину, на простору катастарских општина у обухвату ГУП-а, добијен применом МПЕ



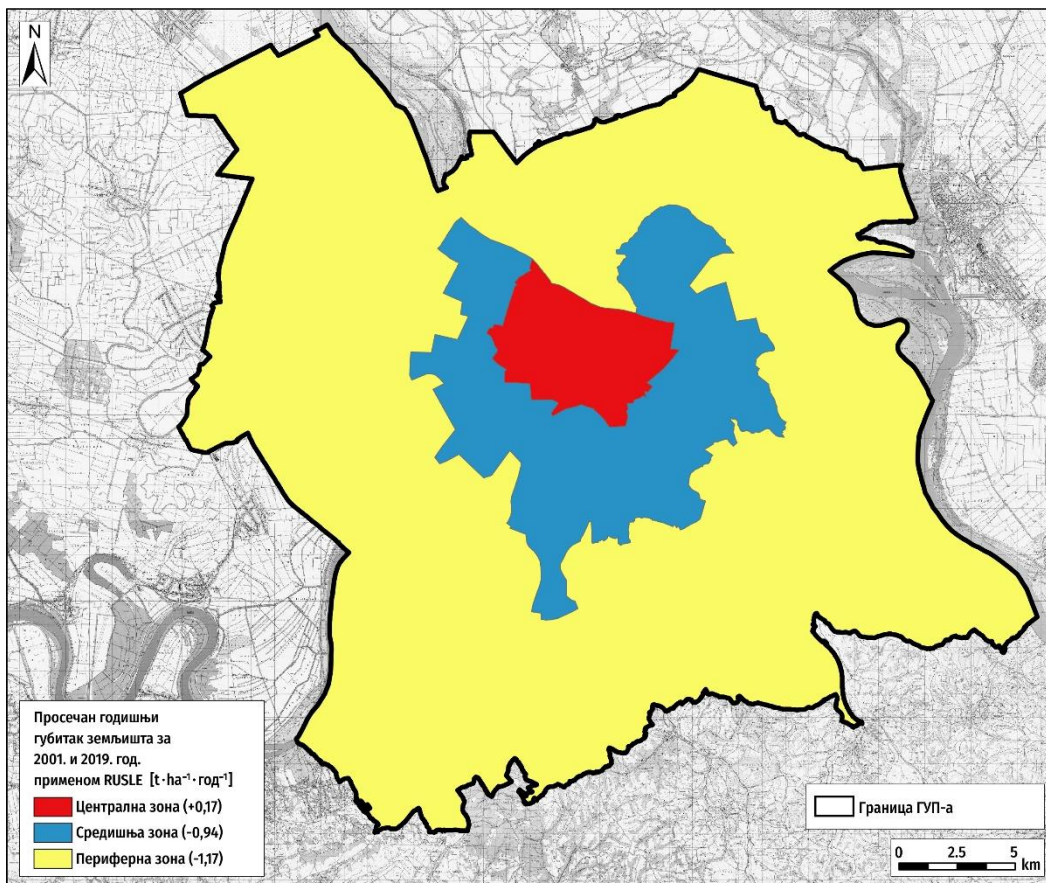
Слика Б.2.2. Просечан годишњи губитак земљишта за 2001. и 2019. годину, на простору катастарских општина у обухвату ГУП-а, добијен применом RUSLE



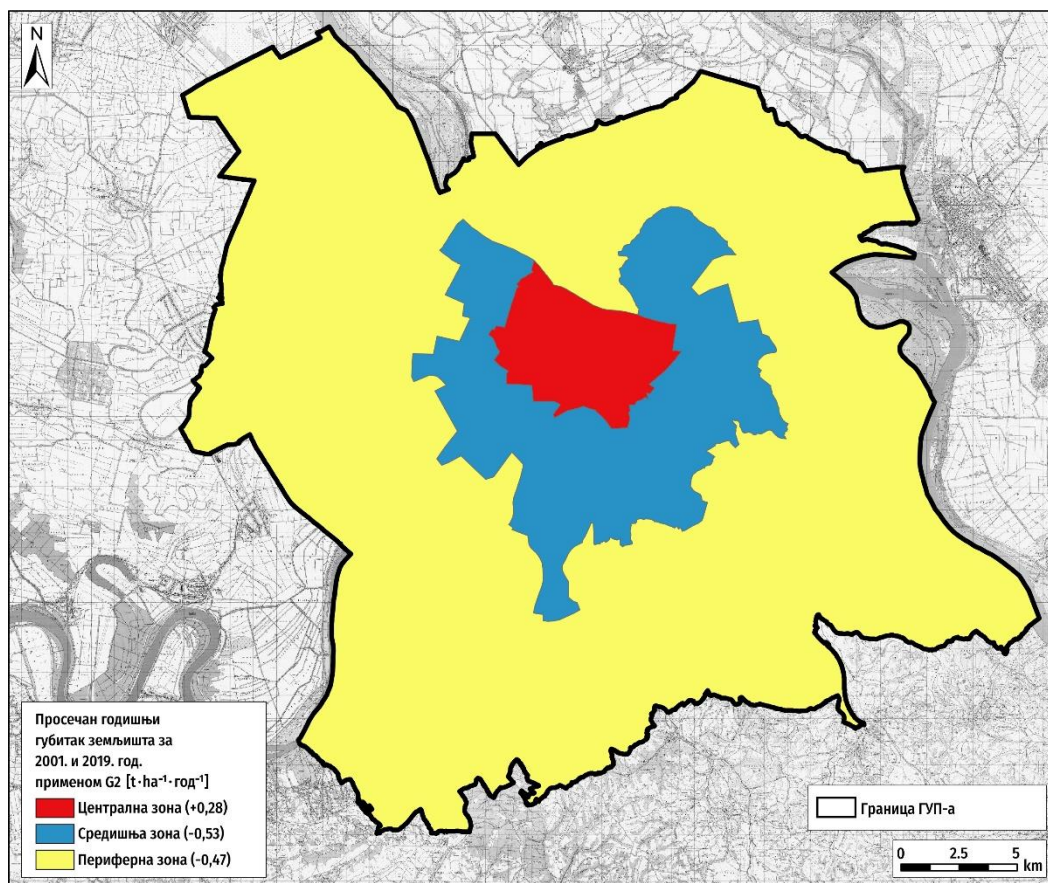
Слика Б.2.3. Просечан годишњи губитак земљишта за 2001. и 2019. годину, на простору катастарских општина у обухвату ГУП-а, добијен применом G2



Слика Б.3.1. Просечан губитак земљишта за 2001. и 2019. годину, у оквиру просторних зона у обухвату ГУП-а, применом МПЕ



Слика Б.3.2. Просечан губитак земљишта за 2001. и 2019. годину, у оквиру просторних зона у обухвату ГУП-а, применом RUSLE



Слика Б.3.3. Просечан губитак земљишта за 2001. и 2019. годину, у оквиру просторних зона у обухвату ГУП-а, применом G2

БИОГРАФИЈА

Синиша Половина је рођен 23. новембра 1991. године у Сремској Митровици, где је завршио основну и средњу техничку школу „Никола Тесла“ (смер Машински техничар за компјутерско конструисање). Основне академске студије на Универзитету у Београду – Шумарском факултету уписао је 2010. године (смер Еколошки инжењеринг у заштити земљишних и водних ресурса). Школске 2014/15 уписује мастер академске студије на студијском програму Еколошки инжењеринг у заштити земљишних и водних ресурса модул М1: Заштита водних ресурса брдско–планинских подручја. Докторске академске студије уписује школске 2015/16 модул М4: Еколошки инжењеринг у заштити земљишних и водних ресурса.

Ангажован је као демонстратор у школској 2015/16. на следећим предметима на Шумарском факултету: Примена ГИС-а у заштити земљишних и водних ресурса (IV семестар), Бујични токови и ерозија 1 (V семестар), Бујични токови и ерозија 2 (VI семестар) и Просторно уређење ерозионих подручја (VII семестар). У школској 2016/2017. добија звање асистента за ужу научну област Ерозија и конзервација земљишта и вода и ангажован је на следећим предметима: Примена ГИС-а у заштити земљишних и водних ресурса (IV семестар), Бујични токови и ерозија (V семестар), Бујични токови и ерозија (Наставак) (VI семестар), Управљање земљишним и водним ресурсима у заштићеним подручјима (VI семестар), Природне непогоде (VI семестар), Просторно уређење ерозионих подручја (VII семестар), Рестаурација бујичних сливова (VIII семестар).

Добитник је прве награде на „ГИС дан Србија 2016“, који је организован на Географском факултету Универзитета у Београду. У октобру 2019. учествовао је у међународној обуци у борби против дезертификације (International Training on Combating Desertification) у Турској у организацији: Министарство пољопривреде и шумарства Републике Турске – Генерална дирекција за борбу против дезертификације и ерозије; Турска агенција за сарадњу и координацију (Republic of Turkey's Ministry of Agriculture and Forestry General Directorate of Combating Desertification and Erosion; and Turkish International Cooperation and Coordination Agency-ТИКА).

Током докторских студија, са својим професорима и колегама учествовао је на више домаћих и међународних конференција и објавио је 33 рада у научним часописима, од чега 2 у часописима са SCI листе. Учествовао је на изради 48 стручних и научних пројеката Шумарског факултета из области ерозије и конзервације земљишта и вода.

Изјава о ауторству

Име и презиме аутора: Синиша Половина
Број индекса: 2015/11

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

**„Компарација метода за квантификацију интензитета ерозионих процеса – студија
случаја подручја Генералног плана Београда”**

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

Потпис аутора

У Београду, _____

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора: Синиша Половина
Број индекса: 2015/11
Студијски програм: Еколошки инжењеринг у заштити земљишних и водних ресурса
Наслов рада: Компарација метода за квантификацију интензитета ерозионих
процеса – студија случаја подручја Генералног плана Београда
Ментор: др Ратко Ристић, редовни професор
Универзитета у Београду Шумарског факултета

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла ради похрањена у **Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског назива доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис аутора

У Београду, _____

Изјава о коришћењу

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

„Компарација метода за квантификацију интензитета ерозионих процеса – студија случаја подручја Генералног плана Београда”

која је моје ауторско дело.

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

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

1. Ауторство (CC BY)
- 2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)**
3. Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)
5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND)
6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци.
Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве).

Потпис аутора

У Београду, _____

1. **Ауторство.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.

2. **Ауторство – некомерцијално.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.

3. **Ауторство – некомерцијално – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.

4. **Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.

5. **Ауторство – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.

6. **Ауторство – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.