УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

ШУМАРСКИ ФАКУЛТЕТ

Данијела М. Величковић

ИНТЕГРАЛНА ПРОТИВЕРОЗИОНА ЗАШТИТА НЕПОСРЕДНОГ ОКРУЖЕЊА СЛИВА ПЛАВСКОГ ЈЕЗЕРА ОД ГРАНИЦЕ СА АЛБАНИЈОМ ДО ПЛАВА

докторска дисертација

Београд, 2026.

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF FORESTRY

Danijela M.Veličković

INTEGRATED ANTIEROSION PROTECTION OF THE IMMEDIATE SURROUNDINGS OF THE PLAV LAKE BASIN FROM THE BORDER WITH ALBANIA TO PLAV

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2026.

Ментор:

1. др Ратко Ристић, редовни професор, Универзитет у Београду – Шумарски факултет

Чланови комисије:

2. др Мирјана Тодосијевић, редовни професор, Универзитет у Београду –Шумарски факултет

3. др Тијана Вулевић, ванредни професор, Универзитет у Београду –Шумарски факултет

4. др Синиша Половина, доцент, Универзитет у Београду –Шумарски факултет

5. др Славољуб Драгићевић, редовни професор, Универзитет у Београду–Географски факултет

ЗАХВАЛНИЦА

Највећу захвалност за израду овог доктората дугујем својим дивним и пожртвованим родитељима, оцу Марку и мајци Добрили. Захваљујући њиховој несебичној подршци, љубави и вјери у мене, градила сам своје образовање и постигла резултате који су ме довели до овог животног и професионалног остварења.

Овај докторат посвећујем својим родитељима, свом малом сину Богдану и супругу Предрагу као извору снаге, инспирације и смисла.

Неизмјерну захвалност дугујем свом ментору, професору Ратку Ристићу, изузетном човјеку и врсном стручњаку, чија су подршка, знање и посвећеност били од непроцјењивог значаја током читавог процеса израде овог рада.
Велику захвалност упућујем проф. др Нади Драговић, проф. др Мирјани Тодосијевић, редовним професорима Шумарског факултета Универзитета у Београду, као и проф. др Тијани Вулевић, ванредном професору Шумарског факултета Универзитета у Београду, и редовном проф. др Славољубу Драгићевићу са Географског факултета Универзитета у Београду, на стручној подршци, научним савјетима и конструктивним сугестијама које су значајно унаприједиле квалитет овог истраживања.

Посебну захвалност упућујем колегама др Синиши Половини и инжењеру Радославу Никчевићу, који су увијек били спремни да пруже стручну помоћ, подијеле искуство и дају корисне савјете.
Искрено се захваљујем Анити Свиличић, сарадници у служби за студентска питања, на изузетној љубазности, професионалности и брзим одговорима током административног дијела студија.

Поред тога, захваљујем се и свим професорима Шумарског факултета на коректности, разумијевању и доброј намјери, који су својим радом допринијели мом стручном и академском развоју.

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):	Данијела Величковић, магистар заштите животне средине
Ментор (МН):	др Ратко Ристић, редовни професор Универзитет у Београду, Шумарски факултет
Наслов рада (НР):	Интегрална противерозиона заштита непосредног окружења слива Плавског језера од границе са Албанијом до Плава.
Језик публикације (ЈП):	Српски / ћирилица
Земља публикације (ЗП):	Србија
Географско подручје (УГП):	Србија
Година (ГО):	2026.
Издавач (ИЗ):	Ауторски репринт
Место и адреса (МА):	11030 Београд, Кнеза Вишеслава 1
Физички опис рада:	11 поглавља, 267 страница, 297 литературних навода, 123 илустрације, 111 табела
Научна област (НО):	Биотехничке науке
Научна дисциплина (НД):	Ерозија и конзервација земљишта и вода
Предметна одредница/ кључне речи (ПО):	ерозија земљишта, нанос, тешки метали, слив Плавског језера, Метод потенцијала ерозије (МЕП – Гавриловић), противерозиона заштита
УДК:	
Чува се (ЧУ):	Библиотека Шумарског факултета, Кнеза Вишеслава 1, 11030 Београд, Србија
Важна напомена (ВН):	Нема
Извод (ИЗ):	Предмет ове докторске дисертације јесте анализа ерозионих процеса и израда интегралног модела противерозионе заштите слива Плавског језера, на потезу од државне границе са Албанијом до Плава. Истраживање је усмјерено на идентификацију извора ерозионог наноса, процјену интензитета ерозије и транспорта седимената, као и дефинисање приоритетних зона интервенције. На основу синтезе добијених резултата развијен је интегрални модел који обједињује биолошке, техничке и биотехничке мјере, са циљем смањења засипања језера и очувања његовог еколошког статуса. Модел омогућава просторно усмјерену примјену мјера, смањење продукције и транспорта наноса, као и дугорочно очување морфолошке стабилности и еколошког статуса Плавског језера. Добијени резултати представљају научну основу за планирање одрживог управљања сливом и заштиту природних језера у планинским подручјима Балкана.
Датум прихватања теме (НН):	9. 4. 2024. године
Датум одбране (ДО)	
Чланови комисије (КО):	Ментор: др Ратко Ристић, редовни професор, Универзитет у Београду – Шумарски факултет Чланови комисије: 1. др Мирјана Тодосијевић, редовни професор, Универзитет у Београду Шумарски факултет 2. др Тијана Вулевић, ванредни професор, Универзитет у Београду –Шумарски факултет 3. др Синиша Половина, доцент, Универзитет у Београду –Шумарски факултет 4. др Славољуб Драгићевић, редовни професор, Универзитет у Београду– Географски факултет

ИНТЕГРАЛНА ПРОТИВЕРОЗИОНА ЗАШТИТА НЕПОСРЕДНОГ ОКРУЖЕЊА СЛИВА ПЛАВСКОГ ЈЕЗЕРА ОД ГРАНИЦЕ СА АЛБАНИЈОМ ДО ПЛАВА

Резиме

Методологија примијењена у овој докторској дисертацији заснива се на интегрисаном и мултидисциплинарном приступу истраживању ерозионих, хидролошких, седиментолошких и еколошких процеса у сливу Плавског језера. Комбиновањем теренских истраживања, лабораторијских анализа, просторних GIS процедура и моделских прорачуна омогућено је свеобухватно сагледавање узрока, интензитета и просторне дистрибуције ерозије, као и њеног утицаја на процес засипања језера.

Теренска истраживања обухватила су детаљно узорковање наноса, воде и земљишта у сливу ријеке Луче, као и батиметријска и геодетска снимања језера и водотокова Луче и Лима. Лабораторијске анализе омогућиле су одређивање гранулометријског састава наноса у складу са међународним стандардима (ISO 17892-4:2016), као и процјену хемијских карактеристика и степена загађења тешким металима у седименту и води. На тај начин добијени су поуздани подаци о текстурним и геохемијским својствима материјала који учествује у процесима транспорта и депозиције наноса.

Просторна обрада и анализа података извршена је у GIS окружењу, кроз израду дигиталног модела терена, анализу морфометријских параметара и примјену Kernel Density Estimation (KDE) методе ради идентификације зона концентрације ерозионих процеса и интервенција. Квантитативна процјена интензитета ерозије и продукције наноса извршена је примјеном Методе потенцијала ерозије (МПЕ – Гавриловић), која је широко призната и примјењивана у регионалним и међународним истраживањима бујичних сливова.

Интеграцијом резултата свих примјењених метода развијен је интегрални модел противерозионе заштите, који омогућава просторну диференцијацију ризика, дефинисање приоритетних зона и избор оптималних биолошких, биотехничких и техничких мјера прилагођених специфичним условима истраживаних сливова. Овако дефинисан методолошки приступ представља научно утемељену основу за дугорочно управљање ерозионим процесима и одрживу заштиту Плавског језера од даље деградације и засипања наносом.

Кључне ријечи: ерозија земљишта, нанос, тешки метали, сливПлавског језера, Метод потенцијала ерозије (МПЕ– Гавриловић), противерозиона заштита.

KEY WORD DOCUMENTATION

Accession number (ANO):	
Identification number (INO):	
Document type (DT):	Monograph documentation
Type of record (TR):	Textual printed document
Contains code CC):	Doctoral dissertation
Author (AU):	Danijela Veličković, Master of Environmental Protection
Menthor (MN):	PhD Ratko Ristić, full professor, University of Belgrade, Faculty of Forestry
Title (TI):	
Language of text (LT):	Serbian / Cyrillic alphabet
Country od publication (CP):	Serbia
Locality of publication (LP):	Serbia
Publication year (PY):	2026.
Publisher (PU):	The authors reprint
Publication place (PP):	11030 Belgrade, Kneza Višeslava 1
hysical description (PD):	11 chapters, 267 pages, 297 references,123 ilustrations, 111 tables
Scientific field (SF):	Biotechnological sciences
Scientific discipline (SD):	Erosion and soil and water conservation
Subject /Key words(CX):	soil erosion, sediment, heavy metals, Plavsko Lake catchment, Erosion Potential Method (EPM – Gavrilović), erosion control.
UC:	
Holding Data (HD):	Library of Faculty of Forestry, Kneza Višeslava 1, 11030 Belgrade, Serbia
Note (N):	None
Abstract (AB):	The subject of this doctoral dissertation is the analysis of erosion processes and the development of an integrated anti-erosion protection model for the Plav Lake catchment, covering the area from the state border with Albania to the town of Plav. The research focuses on identifying the sources of erosion-derived sediment, assessing the intensity of erosion and sediment transport, and defining priority intervention zones. Based on the synthesis of the obtained results, an integrated model was developed that combines biological, technical and biotechnical measures with the aim of reducing lake infilling and preserving its ecological status. The model enables spatially targeted application of measures, reduction of sediment production and transport, and long-term preservation of the morphological stability and ecological condition of Plav Lake. The findings provide a scientific basis for planning sustainable catchment management and protecting natural lakes in mountainous regions of the Balkans.
Accepted by Scientific Board on (ACB):	9. 4. 2024.
Defended on (DE)	
Thesis Defend Board (DB):	-PhD Ratko Ristić, Full Professor, University of Belgrade, Faculty of Forestry -PhD Mirjana Todosijević, Full Professor, University of Belgrade, Faculty of Forestry -PhD Tijana Vulević, Associate Professor, University of Belgrade, Faculty of Forestry -PhD Siniša Polovina, Assistant Professor, University of Belgrade – Faculty of Forestry -PhD Slavoljub Dragićević, Full Professor, University of Belgrade, Faculty of geography

Abstract

The methodology applied in this doctoral dissertation is based on an integrated and multidisciplinary approach to the investigation of erosion, hydrological, sedimentological, and ecological processes within the Plavsko Lake catchment. By combining field investigations, laboratory analyses, spatial GIS procedures, and modeling calculations, a comprehensive assessment of the causes, intensity, and spatial distribution of erosion was achieved, as well as its impact on the sedimentation processes of the lake.

Field investigations included detailed sampling of bedload, sediments, water, and soil within the Luča River catchment, along with bathymetric and geodetic surveys of the lake and the Luča and Lim watercourses. Laboratory analyses enabled the determination of the granulometric composition of sediments in accordance with international standards (ISO 17892-4:2016), as well as the assessment of chemical characteristics and the degree of heavy-metal contamination in sediments and water. In this way, reliable data were obtained on the textural and geochemical properties of materials involved in sediment transport and deposition processes.

Spatial data processing and analysis were conducted in a GIS environment through the development of a digital terrain model, analysis of morphometric parameters, and the application of the Kernel Density Estimation (KDE) method to identify zones of concentrated erosion processes and interventions. Quantitative assessment of erosion intensity and sediment production was carried out using the Erosion Potential Method (EPM – Gavrilović), which is widely recognized and applied in regional and international studies of torrential catchments.

By integrating the results of all applied methods, an integral erosion-control model was developed, enabling spatial differentiation of risk, definition of priority zones, and selection of optimal biological, technical and biotechnical measures adapted to the specific conditions of the studied catchment. This methodological framework provides a scientifically grounded basis for long-term management of erosion processes and sustainable protection of Plavsko Lake from further degradation and sediment infilling.

Keywords: soil erosion, sediment, heavy metals, Plavsko Lake catchment, Erosion Potential Method (EPM – Gavrilović), erosion control.

САДРЖАЈ

1. УВОД 1

1.1. Предмет докторске дисертације 1

1.2. Циљ рада 4

1.3. Основне хипотезе 4

2. ЗНАЧАЈ ПРОУЧАВАЊА ЕРОЗИЈЕ ЗЕМЉИШТА И ПРЕГЛЕД ДОСАДАШЊИХ ИСТРАЖИВАЊА 5

2.1. Систематизација постојеће документације на подручју истраживања и преглед релевантних истраживања 5

3. МЕТОДОЛОГИЈА ИСТРАЖИВАЊА 10

3.1. Методологија прикупљање података 10
3.1.1. Теренска истраживања 11
3.1.2. Постојећа истраживања и подаци 11

3.2. Примјена методе лидара LiteMapper 6800-400 LIDAR system за геодетска снимања Плавског језера 12

3.3. Примјена батиметријске методе уз помоћ једноснопног ултразвучног дубиномјера Navisaund 215 12

3.4. Методе анализа наноса 12
3.4.1. Примјена Методе потенцијала ерозије за анализу ерозионих процеса 12
3.4.2. Примјена стандарда MEST EN ISO 17892-4:2021 у циљу одређивања гранулометријског састава рјечног наноса 14
3.4.2.1. Припрема узорка 16

3.5. Анализа контаминације земљишта 18
3.5.1. Појединачани индекс загађења -Pollution Index (PI) 20
3.5.1.1. Pollution Load Index (PLI) - Индекс оптерећења екосистема (земљишта) загађењем 20
3.5.1.2. Немеров индекс загађења- Nemerow Pollution Index (P_{IN}) 21
3.5.1.3. Геоакумулациони индекс - Geoaccumulation index (Igeo) 21
3.5.1.4. Анализа токсичних јединица- Analysis of Toxic Units (ΣTUs) (ΣTUs) 22
3.5.1.5. Фактор контаминације- Contamination Factor (CF) 22
3.5.1.6. Фактор обогаћења- Enrichment Factor (EF) 23
3.5.1.7. Индекс потенцијалног еколошког ризика- Potential Ecological Risk Index (RI) 24
3.5.2. Методе хемијске анализе 25
3.5.2.1. Локације и период узорковања воде и седимената ријеке Луче 25
3.5.2.2. Лабораторијске методе 27
3.5.2.3. Процјена квалитета седимената 28
3.5.2.4. Методе анализе основних хемијских особина земљишта и наноса 31

3.5.3. Примјена статистичких и математичких метода анализе добијених резултата 31

4. ОПШТЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ПЛАВСКОГ ЈЕЗЕРА И СЛИВНОГ ПОДРУЧЈА ... 32

4.1. Географске и морфометријске карактеристике слива 41

4.2. Геолошке карактеристике 46

4.3. Основни климатски и хидролошки показатељи слива 52

4.4. Лимно-еколошке карактеристике Плавског језера 55

4.5. Квалитет вода Плавског језера 55

4.6. Биодиверзитет Плавског језера 56

4.7. Топографски и батиметријски премјер Плавског језера 57

5. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА 61

5.1. Приказ теренских истраживања, гранулометрија рјечног наноса 61

5.2. Рекогносцирање терена у сливу Плавског језера до границе са Албанијом и идентификација хидролошких, геолошких и геоморфолошких карактеристика 89

5.3. Педолошке карактеристике терена 92

5.4. Анализа начина коришћења земљишта 97

5.5. Анализа квалитета воде и седимената у сливу Плавског језера 102

5.6. Хидролошке анализе 104

6. АНАЛИЗА ЕРОЗИОНИХ ПРОЦЕСА У СЛИВУ ПЛАВСКОГ ЈЕЗЕРА ПРИМЕНОМ МПЕ 108

6.1. Ерозиона продукција 108
6.1.1. Прорачун продукције и проноса наноса 114

6.2. Статистичка обрада података 135
6.2.1. Статистички прорачун великих вода 135
6.2.2. Прорачун малих вода 139
6.2.3. Резултати корелационе анализе тешких метала у седименту ријеке Луче 143
6.2.4. Индекси загађења ријечног седимента проучаваног подручја 146
6.2.4.1. Концентрациони фактор 147
6.2.4.2. Фактор засићења седимената тешким металима 147
6.2.4.3. Мјере противерозионе заштите које имају имају ефекат на имобилизацију анализираних тешких метала 157

7. ДИСКУСИЈА 161

8. ПРИЈЕДЛОГ МЈЕРА ЗА ПРОТИВЕРОЗИОНУ ЗАШТИТУ И РЕДУКЦИЈУ НАНОСА У СЛИВУ ПЛАВСКОГ ЈЕЗЕРА 186

9. ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА 216

10. ЛИТЕРАТУРА 221

11. ПРИЛОЗИ 242

1. УВОД

1.1. Предмет докторске дисертације

Ерозија земљишта је природни процес разарања, преноса и одлагања земљишног материјала, дејством кинетичке енергије, температурних и хемијских агенаса (Morgan 2005; Bakker et al., 2004: Martinović, 2015). Ерозија је геоморфолошки процес који се дешава континуирано на свим дијеловима Земљине површине, који може бити интензивиран под дејством антропогеног фактора, углавном усљед промјене намјене земљишта (Tošić et al., 2012). Такође, доводи до деградације животне средине усљед транспорта и таложења ерозионог материјала, који је често оптерећен полутантима, и повећањем потенцијала за настанак деструктивних бујичних поплава. Трошкови санације и рестаурације деградираних површина изузетно су високи, што често онемогућава реализацију потребних активности и доводи до потпуне деструкције (Morgan, 2005; Spalević et al, 2017; Durlević et al., 2019, Vujačić et al., 2015). Процеси ерозије се такође налазе под снажним утицајем социјалних, економских, политичких и институционалних фактора (Eswaran et al., 2001; Ananda et al., 2003). Ерозија земљишта и таложење материјала су дио природне еволуције пејзажа, али представљају неке од најважнијих проблема за развој пољопривреде и шумарства, али и коришћење природних ресурса (Golosov et al., 2019; Choudhary et al., 2024). Ови процеси су повезани са топографским карактеристикама слива, геолошким, климатским, хидролошким, вегетацијским и псамолошким условима (Petković et al., 1995). Тематска стратегија ЕУ земљишта, усвојена од стране Европске комисије у септембру 2006. године, указала је на убрзану ерозију земљишта као главну пријетњу европским земљиштима. Заједничка пољопривредна политика Европске уније препознаје важност заштите земљишта, контроле ерозионих процеса и очувања потребног нивоа органског угљеника. Утврђено је да просјечна стопа губитка земљишта у земљама Европске уније износи 2,46 t/ha годишње, што одговара укупним губицима од око 970 милиона тона земљишта годишње, количини која би прекрила површину града Берлина слојем дебљине једног метра (Panagos et al., 2020).

Подстицај за развој модела ерозије почео је 1930-их и 1940-их са потребом да се процијене различите праксе очувања земљишта. Иако се ефикасност мјера за контролу ерозије може тестирати на терену на експерименталним парцелама, за добијање поузданих резултата неопходни су вишегодишњи низови података. Експерименталне парцеле су такође скупе за успостављање и одржавање. Стога је неопходан алтернативни приступ у коме се ефикасност различитих мјера може предвидјети на основу познавања локалних услова климе, земљишта, топографије и земљишног покривача. Модели ерозије су обично детерминистички или

нумерички, како би се описали процеси ерозије са доминантним векторима. Њихова основна улога огледа се у предвиђању интензитета ерозије, процјени ризика и евалуацији ефикасности различитих мјера заштите земљишта. Поред тога, модели омогућавају симулацију различитих сценарија коришћења земљишта и климатских промјена, чиме представљају важан алат у процесу доношења одлука и одрживог управљања природним ресурсима (Morgan, 2010; Morgan, Nearing, 2011). У новијим истраживањима врше се и унапређења постојећих модела, па тако Polovina et al. (2024) примјењују методу потенцијала ерозије (МПЕ) уз коришћење даљинске детекције и Google Earth Engine платформе ради дефинисање коефицијента који описује тип и интензитет ерозије (φ). Слично томе, квантитативна процјена стопе ерозије у сливу Алијакмона показала је да се примјеном модификованог Гавриловићевог модела у комбинацији са GIS-ом анализа може проширити са малих повремених токова на велике ријечне сливове, чиме се значајно унапређује примјена овог метода у савременим истраживањима (Emmanouloudis et al., 2003). Додатно, савремени приступи укључују и примјену тродимензионалних GIS модела који омогућавају прецизнију и бржу квантитативну процјену деградације сливова, уз детаљну анализу просторне варијабилности ерозионих процеса и продукције наноса (Emmanouloudis, 2006).

Водна ерозија је доминантан тип ерозије у Црној Гори. Водна ерозија се јавља као посљедица дјеловања падавина, површинског спирања и хидрауличке енергије тока, односно тангенцијалног напона којим текуће воде дјелују на ријечно дно и обале. Просторни и квантитативни подаци о ерозији на нивоу сливова имају велики значај за планирање мјера заштите земљишта, контролу ерозије и управљање животном средином (Abrahim et al., 2008). Ерозија и бујице су свеприсутна појава у Црној Гори. Рељеф и кише нуде повољне услове за развој ријечне ерозије. Црна Гора је специфично подручје на којем се на релативно малој површини јављају најразноврснији ерозиони облици и учестали бујични токови. То је редовно захтијевало прилагођавање уобичајених метода за санацију ерозије и бујичних токова и изналажење нових рјешења. Прве активности у овој области забиљежене су још 1880. године, скоро у исто вријеме када су започете и у тада најразвијенијим земљама Европе (Strategija upravljanja vodama Crne Gore, 2017). На подручју Црне Горе у три периода, од 1880. до 1941, од 1945. до 1963. и од 1963. до 1997. године интензивно се радило на уређењу бујица и заштити од ерозије.

Први период обиљежавају интервенције техничког карактера у коритима бујичних токова, које су се најчешће реализовале изградњом попречних објеката као што су преграде, прагови и каскаде. Највећи број ових захвата спроведен је у вријеме Аустро-Угарске управе, углавном

на подручју Бококоторског залива и у околини Цетиња. Други период карактерише значајно проширење ових активности, уз истовремену примјену техничких, биолошких и биотехничких мјера, што је дало веома повољне резултате у сузбијању ерозионих процеса (Strategija upravljanja vodama Crne Gore, 2017). Spalević (2011), Lazarević (1996) и Kadović (1999) износе податке да је од укупне површине Црне Горе, преко 95% угрожено процесима ерозије, гдје водна ерозија представља доминантан облик, посебно у брдско-планинском подручју због сложених физичко-географских услова и неконтролисане сјече шуме, почев још од доба Млетачке републике (Ђоровић, 1975). Према Ђорђевићу и сарадницима (1987) количина транспортованог наноса у Црној Гори износи 160 $m^{3} \cdot km^{-2}$ годишње. Према, Лазаревићу (1996), у сливу Лима продукција наноса износи 312 $m^{3} \cdot km^{-2}$ годишње, а најдетаљнија истраживања у Полимљу у претходне двије деценије (1997-2018) извршио је Спалевић В. са сарадницима, од 1999. do 2018. године. Као резултат ове анализе закључује се да просјечна вриједност интензитета ерозије по квадратном километру износи 331,78 $m^{3} \cdot km^{2}$ годишње. Сличан закључак доноси и Бабић са сарадницима (2003), износећи вриједност од 350 $m^{3} \cdot km^{2}$ годишње. Према Националном плану заштите и спасавања од поплава (Влада Црне Горе, 2019), укупна продукција ерозионог наноса у Црној Гори износи око 3.799.352 m^3 годишње, док специфична продукција износи 291 m^3/km^2 годишње, што указује на висок интензитет ерозионих процеса. Процјењује се да се годишње изгуби око 1.000 ha земљишта (рачунато на слој од 20 cm), што представља значајан губитак пољопривредних и природних ресурса. Ерозија је присутна на око 460.000 ha територије, кроз различите категорије интензитета (од слабе до веома јаке ерозије). Регистровано је око 300 бујичних сливова и подручја, што додатно потврђује изражен проблем ерозије и бујичних токова. На појединим профилима ријека (Морача, Тара, Лим, Пива) биљежи се укупно око 4.982.000 m^3 наноса годишње, што директно утиче на водотоке, акумулације и ризик од поплава. У зависности од геолошке подлоге, постоје специфични облици ерозије карактеристични за крашке регије, који су доминантни, али постоје и други облици ерозије. Прекомјерна ерозија у Црној Гори јавља се углавном у сливу ријеке Ибар (5,2%) и приобалним сливовима (4,6%), као и у мањем дијелу слива ријеке Пиве (2,8%). Према Лазаревићу (1970), до јаке ерозије долази у сливовима Ибра (17,8%), Зете (17,8%) и Цијевне (19,7%).

У антиерозионе мјере спадају: организација простора (рејонизација и коришћење земљишта, начин обраде, агротехника, услови при изградњи објеката, саобраћајнице, насеља) кредитна и пореска политика која треба да стимулише непосредног корисника земљишта за прихватање и спровођење антиерозионе политике, пропагандно-васпитни рад, законодавни и

административни акти који треба да пропишу потребне мјере и обезбиједе економску основу за њихово спровођење (Drašković et al., 2016). Најважнији сегмент јесте реализација техничких (попречни и подужни објекти у рјечном кориту), биотехничких (контурни зидићи, терасирање терена, дренажни системи, водопутеви) и билошких радова (пошумљавање голети, попуњавање проријеђених састојина, илофилтерски системи).

1.2. Циљ рада

Докторска дисертација има сљедеће циљеве:

- Израда модела интегралне противерозионе заштите непосредног окружења слива Плавског језера, од границе са Албанијом до Плава, који подразумијева заштиту, очување и ревитализацију Плавског језера.

- Креирање препорука којима се предлажу примјене биолошких, биотехничких и техничких мјера у сливу Плавског језера, у циљу спријечавања даљег засипања језера наносом и смањења његове површине.

- Идентификација области на којима су спроведене мјере заштите Плавског језера од засипања ерозионим наносом, као и подручја у којима су ријечна корита регулисана ради заштите од поплава.

1.3. Основне хипотезе

На основу дефинисаних циљева одређене су сљедеће хипотезе:

- Изумирање Плавског језера је проузроковано различитим природним процесима (еутрофикација, засипање и таложење наноса, замуљивање, инвазија барске вегетације, регресивна ерозија Лима). Ерозиона продукција наноса у сливу и транспорт наноса према језеру значајно утичу на процесе у језеру и околини.

- Смањење продукције наноса на узводним дијеловима слива може се постићи конзервацијом земљишта и контролом ерозионих и бујичних процеса, изградњом противерозионих објеката и примјеном других мјера којима се спријечава да вода оптерећена наносом доспије у језеро.

- Примјена биолошких, биотехничких и техничких мјера доприноси развоју оптималних хидролошких ефеката, јачању вегетационог покривача, успјешној санацији ерозионих процеса и превенцији бујучних поплава.

2. ЗНАЧАЈ ПРОУЧАВАЊА ЕРОЗИЈЕ ЗЕМЉИШТА И ПРЕГЛЕД ДОСАДАШЊИХ ИСТРАЖИВАЊА

2.1. Систематизација постојеће документације на подручју истраживања и преглед релевантних истраживања

Анализом домаће и стране литературе прикупљена су и систематизована знања која обухватају проблематику утицаја начина коришћења земљишта на процес ерозије, падавине и отицај. Ерозија земљишта и бујични токови су природни феномени који су нераскидиво повезани као компоненте природних процеса. Одређивање извора наноса представља важан инструмент за унапређење политика заштите земљишта, смањење интензитета ерозионих процеса и ограничење акумулације седимената у водним тијелима (Lense et al., 2023). Проблеми конзервације земљишта изражени су у Кини, СССР-у, САД-у, Украјини, како наводе аутори Liding Chen (2007), Zachar (1970), Svetlitchnyi (2009). Простор бившег СССР–а угрожен је ерозијом у обиму од 200 милиона хектара при чему је 4% угрожено најтежим, 20% јаким, 25% средњим, а око 50% слабим до средње слабим процесима ерозије. Подаци о ерозији у Русији обликовани су у базу података која је доступна научним истраживачима која омогућава брзу процјену стања земљишта. Референтна база података омогућава анализу постојећег стања земљишта са циљем процјене његове погодности за пољопривредну производњу. У Азији и Африци ће бити угрожено око 139 милиона хектара земљишта ако се не преудзму хитне мјере контроле употребе земљишта (Wolman et al., 1990; Foster et al. 1987; Renard et al., 1991). Процесом ерозије земљишта у САД-у уништено је око 120 милиона хектара плодног земљишта, а око 300 милона хектара земљишта је захваћено ерозијом средњег интензитета. Ерозионим процесима у Сједињеним Америчким Државама изложено је приближно 90% пољопривредног земљишта, што представља губитак земљишта изнад прихватљивих одрживих граница. Због тога је Национална агенција за аеронаутику (NASA, 1996) развила специјалистички програм (LCLUC- Land-Cover and Land-Use Change) у вези са праћењем промјена начина коришћења земљишта, праћење процеса интензивирања коришћења земљишта, као и деградацију земљишта у аридним и семи-аридним срединама (Spalević, 2011). Borrelli et al., 2017. године наводе да су многе земље проблем ерозије земљишта увеле у законску регулативу кроз законе, подзаконска акта и то у Индији, Русији, Малезији, Непалу, Украјини, Киргистану, у циљу дефинисања правила контроле ерозије (Spalević, 2011; Hannam and Boer, 2002). Те мјере обухватају сљедеће параметре: идентификацију угрожених подручја, развој планова контроле, мјере поправке, рестриктивне режиме коришћења земљишта, посебне мјере конзервације за контролу и превенцију.

Истраживања показују да земље са нижим нивоом економског развоја имају израженије стопе ерозије и деградације земљишта (Borrelli et al., 2017).

Озбиљан проблем глобалних размјера представљају различити процеси деградације земљишта као што су ерозија, губитак плодности, ацидификација, салинизација, смањен водно ваздушни капацитет. То је обухваћено регулативама Европске уније (CEC, 2006), али и другим међународним конвенцијама (UNEP, 2004; UNCCD, 2015). Интензивирање ерозионих процеса, бујичних поплава, површинског отицаја и деградација земљишта повезани су са технолошким напретком друштва и глобализацијом, посебно у развијеним земљама, збијањем земљишта усљед испаше, употребом хемикалија, неконтролисаним одлагањем отпада. У Бугарској је антиерозионим пошумљавањем третирано око 950.000 ha, што је око 8,64% укупне територије и једна од највиших стопа противерозионог пошумљавања у Европи, док се у Македонији примењује концепт пошумљавања екстремно аридних области (Blinkov et al., 2010). Ефекте, након извођења радова на противерозионом уређењу неког подручја, неопходно је приказати кроз утрошена средства и кроз спријечене губитке земљишта (Kuhlman et al., 2010). Када се деградација земљишта са негативним ефектима прикаже кроз економску анализу, нужност улагања у радове којима ће се вршити превенција у борби против ерозионих процеса постаје јасно видљива (Pimentel, 1995).

Погоршање физичких, хемијских и биолошких особина земљишта доводи до деградације земљишта и представља резултанту различитих процеса, фактора и узрока, али и система управљања земљишним простором (Nunes et al., 2020). С обзиром да је ерозија земљишта препозната као једна од великих пријетњи у одрживом управљању водним и земљишним ресурсима (Brown, Wolf, 1984), у оквиру IGBP (International Geosphere–Biosphere Program) креирана је мрежа на међународном нивоу у циљу побољшања могућности предвиђања ерозије земљишта на основу глобалних промјена. Тај програм омогућио је тестирање и процјену резултата који су добијени на основу различитих модела посматрајући стање на терену. У ову сврху употријебљени су различити модели који предвиђају губитак земљишта, промјене и начин коришћења. Модели који су коришћени за ову сврху су: ACRU, AGNPS, EROSION3D, EUROSEM, KINEROS2, MEDRUSH, WEPP, LISEM. Вриједно је поменути извођење противерозионих радова на сливу ријеке Јабланице узводно од бране „Ровни“, који су довели до смањења интензитета ерозионих процеса на сливу, а тиме, и продукције и транспорта наноса. У посматраном периоду забиљежено је смањење средњег коефицијента ерозије са Zsr = 0,40 (1986) на Zsr = 0,37 (2013). Истовремено, специфична продукција наноса у сливу опала је са 916,49 $m^3 \cdot km^{-2} \cdot god^{-1}$ на 815,34 $m^3 \cdot km^{-2} \cdot god^{-1}$, што указује да су укупна и

специфична продукција наноса смањене за 11,04% (Стефановић, 2016). Веома значајни ефекти противерозионих радова, уочени су на сливу ријеке Топлице, узводно од будуће акумулације Селова (Kostadinov et al., 2008). Истраживање кроз три временска пресјека показало је значајне промјене, односно, смањење коефицијента ерозије, проноса и продукције наноса.

Истраживачки центар Европске комисије (Joint Research Centre - JRC) препоручује употребу модела попут MESALES, G2, PESERA и USLE за процјену интезитета ерозије (Perović, 2015). Није препоручљиво коришћење само једног модела за прорачун интензитета ерозионих процеса, због сложености, бројности и варијабилности фактора који утичу на настанак и развој ових процеса, што потврђују бројна експериментална истраживања. Метод потенцијала ерозије (МПЕ), за процјену ерозионе продукције и проноса наноса користи се за брдско-планинска подручја и поред Србије, масовно је примјењиван у Македонији, Босни и Црној Гори (Blinkov, Kostadinov, 2010).

На простору Балкана проблем ерозије земљишта обухватио је и Црну Гору, Србију, Албанију, Македонију, Босну и Херцеговину. Према доступној литератури (Костадинов, 1996), међу пионирима у борби против ерозије и бујичних токова на нашим просторима издвајају се Стеван Петровић, Ђурековић, Чмелик, Јовановић, као и Милан Мужинић, Љубивоје Малетић и Сретен Росић. Међу првим истраживачима у области противерозионог уређења простора истиче се Ванчетовић, чији су радови објављени 1951, 1954, 1966. и 1971. године. Према доступној литератури, изузетан допринос развоју науке о ерозији и бујичним токовима дао је Гавриловић, посебно кроз радове објављене 1960, 1961, 1964, 1965 (a, b, c) и 1972. године.

Кадовић (1999) и Лазаревић (1996) приказују податке да је, преко 95% од укупне површине Црне Горе, угрожено процесима ерозије, при чему водна ерозија представља доминантан облик у брдско-планинском подручју, због сложених физичко-географских услова и неконтролисане сјече, почев још од времена Млечана на овом простору (Ђоровић, 1975).
Ђорђевић са сарадницима 1987. године указује да је количина транспортованог наноса у Црној Гори износила 160 m^{3}·$km^{-2}god^{-1}$.

На простору бивше СФРЈ, према Кадовићу (1999), процесима ерозије земљишта била је угрожена површина од преко 75% укупне територије. Са земљишта је годишње одношено око 90 милиона метара кубних материјала, од чега је око 15% завршавало у водним

акумулацијама, наносећи значајне штете електропривреди и водопривреди запуњавањем акумулација.

Истраживања Спалевића (2013) показују да је годишња продукција наноса у Бијелом потоку 211,11 m^3 $km^{-2}god^{-1}$. Предвиђени губици земљишта су 612,21 m^3/god, а коефицијент ерозије износи 0,290. Заступљена је мјешовита ерозија, а јачина процеса ерозије је IV категорије, што је карактерише као слабу ерозију. Према Спалевићу (2011), резултати прорачуна показују да у сливу Бијелог потока постоји могућност формирања значајних поплавних таласа, чему доприноси и вриједност средњег пада слива од 46,08% (Spalević, 2011). Бијели поток се улива у ријеку Лим и доприноси подизању нивоа дна корита, те је стога потребно радити на конзервацији овог дијела слива Плавског језера. Интензиван површински отицај, као последица јаких киша, доводи до појаве бујичних таласа који проносе велике количине наноса у ријеку Лим, стварајући успор на његовом истицању из Плавског језера.

У сливу Полимља, према Спалевићу (2011), вриједности коефицијента ерозије слива, Z, за проучаване сливове крећу се у распону од 0,01 до 0,40, што указује на доминацију врло слабе до слабе ерозије. Највећи број сливова сврстан је у IV категорију разорности, коју карактеришу слаби ерозиони процеси са вриједностима Z од 0,20 до 0,40, док мањи број сливова припада V категорији разорности, гдје су присутни врло слаби ерозиони процеси са траговима ерозије (Z од 0,01 до 0,19). Типови владајуће ерозије варирају од дубинске, преко мјешовите, до површинске. Стварни губици земљишта у свих 57 проучаваних сливова Полимља, чија је укупна површина 2.107 km^2, крећу се у распону од 36,98 m^3/km^2 годишње на локалитету Навотински поток, до 296,41 m^3 по квадратном километру годишње, Величка ријека, при чему наведена вриједност од 296,41 $m^3/km^2/god$ представља максимално забиљежену вриједност. Укупни годишњи губици земљишта за ова подручја износе 347,273 m^3/km^2god.

Дуж тока ријеке Грнчар не постоји континуирани транспорт наноса из притока већ долази до задржавања наноса у зонама гдје се притоке уливају, али и дуж тока гдје су транспортне моћи притока смањене. Слаба отпорност геолошке подлоге, одсуство биљног покривача, велика купираност терена, неадекватно коришћење земљишта на сливу условили су развој ерозије. Гранулометријски састав рјечног наноса ријеке Грнчар чине крупни, средњи и ситан шљунак, облуци, ситан, средњи и крупан пијесак. Влада Црне Горе размотрила је план давања концесија за експлоатацију рјечног наноса из Грнчара (Uprava za vode, 2019). Према плану

давања концесије за експлоатацију ријечног наноса (шљунка и пијеска) из корита ријека Лим и Грнчар за 2019. годину, могуће је вршити експлоатацију ријечног наноса на локалитетима: Грнчар I (1.792 m³/god), локалитету Грнчар II (који се налази 5,5 km узводно од Гусиња, према државној граници с Албанијом) – 2.358 m³/god и на локалитету Грнчар III – 632 m³/god.

Утицаји примијењених мјера на контролу ерозионих процеса се могу предвидети, тако да се и потенцијалне користи могу евидентирати (Ristić et al., 2011 a). У новије вријеме у сливу Плавског језера није било реализованих противерозионих интервенција, што потврђују и резултати теренског увида и релевантни литерарни извори. Према подацима из Стратегије управљања поплавама из 2017. године, коју је израдило Министарство пољопривреде и руралног развоја кроз пројекат Дирекције јавних радова у 2011. години под називом „Хитна помоћ и превенција од поплава“ реализован је 61 пројекат, а утрошено је осам милиона евра за потребе реконструкције и санације мостова, водовода, клизишта и путева, као и за регулацију водотокова у Црној Гори.

Плавска ријека је регулисана на дужини од 300 m, у периоду од 2013. до 2014. године, ријека Грнчар у Гусињу на дужини 200 m, у временском интервалу од 2012-2015. године, Врује 1050 m. На ријеци Грнчар постављене су обалоутврде и уређено корито ријеке Грнчар узводно и низводно од моста на уласку у Гусиње.

3. МЕТОДОЛОГИЈА ИСТРАЖИВАЊА

Истраживања су спроведена на подручју Плавског језера и његових притока, са посебним освртом на слив ријеке Луче.

Истраживање обухвата примјену интегралног приступа који обједињује: методологију прикупљања података (теренска истраживања, GPS снимање, хидролошка и батиметријска истраживања), методологију хемијске анализе (лабораторијско испитивање узорака површинских вода и седимента на садржај тешких метала, методологију анализе гранулометријског састава наноса ријеке Луче (примјена стандарда MEST EN ISO 17892-4:2021 (2016) у циљу одређивања гранулометријског састава ријечног наноса), методу анализе основних хемијских карактеристика земљишта и вученог наноса, методологију израде модела противерозионе заштите. Методолошки приступ изради интегралног модела противерозионе заштите заснива се на интеграцији више група података и аналитичких техника, које обухватају теренска мјерења (батиметријска и геодетска снимања, мапирање ерозивних облика, узорковање наноса и седимента), лабораторијске анализе (гранулометријска обрада, хемијска анализа тешких метала), просторне GIS процедуре (DEM анализе, морфометријски параметри, просторне класификације, Kernel Density Estimation), као и примјену савремених хидролошких и геоморфолошких модела (МПЕ/Гавриловић, морфометријски индикатори, модели транспорта и депозиције). Ова методологија укључује и интеграцију резултата теренских и лабораторијских анализа, примјену GIS алата за просторну идентификацију критичних зона, методе процјене потенцијала ерозије и морфометријских показатеља, као и систематску примјену најбољих пракси биолошких, биотехничких и техничких мјера (пошумљавање, мелиорација пашњака, терасирање, контурне траке, микроретензиони појасеви, камене и бетонске преграде), које су развијене у складу са специфичним условима сваког подслива. Основна идеја методологије јесте да се кроз поступно синтетисање геолошких, педолошких, хидролошких, седиментолошких, еколошких и техничких параметара дефинише јединствен, просторни и процесни модел који описује актуелно стање ерозионих процеса, процјењује ризик и омогућава избор најефикаснијих мјера контроле ерозије и стабилизације слива Плавског језера.

3.1. Методологија прикупљање података

За потребе докторске дисертације прикупљени су подаци (пројекти и студије) који се баве проблематиком противерозионе заштите слива Плавског језера. У раду је коришћена метода анализе на основу доступне техничке документације. У оквиру израде докторске дисертације, која се бави израдом модела интегралне противерозионе заштите непосредног окружења

слива Плавског језера - на потезу од државне границе са Албанијом до града Плава - извршена је анализа досадашњих истраживања усмјерених на заштиту Плавског језера од природног изумирања, са посебним фокусом на мјере спречавања даљег засипања језера ерозионим наносом.

3.1.1. Теренска истраживања

Теренска истраживања обухватала су сљедеће активности:

а) Обилазак терена и узорковање седимената из ријеке Луче - Први узорак је узет на удаљености од 400 метара од ушћа ријеке у Плавско језеро, док су преостали узорци узимани на сваких 100 метара дуж тока, узводно, на дужини од 2 километра. Укупно је прикупљено 16 узорака са лијеве и десне обале ријеке.

б) Хемијска анализа воде и седимената - У оквиру истраживања извршено је узорковање воде и седимената ријеке Луче на девет локација, распоређених на дужини од 2,2 km прије ушћа ријеке у Плавско језеро, са обје обале (лијеве и десне). Хемијска анализа обухватила је квантитативно одређивање концентрација осам одабраних тешких метала: арсен (As), кадмијум (Cd), жива (Hg), бакар (Cu), никал (Ni), гвожђе (Fe), цинк (Zn) и олово (Pb). Ови елементи одабрани су због њихове познате екотоксичности, биоакумулативног потенцијала и честог присуства у водним екосистемима под утицајем антропогених активности.

ц) У оквиру теренских истраживања узети су узорци земљишта и вученог наноса дуж слива ријеке Луче ради испитивања основних хемијских карактеристика, као што су активна и супституциона киселост (pH) и укупни садржај азота.

3.1.2. Постојећа истраживања и подаци

Поред ауторских теренских истраживања, у раду су коришћени подаци и резултати претходних истраживања:

- ✓ Батиметријска истраживања: постојећи подаци о дубини и морфологији Плавског језера, Студија ревитализације и заштите Плавског језера, Институт Јарослав Черни, Београд, 2018. година; Батиметријска и геодетска истраживања Плавског језера, Хидрометеоролошки завод Црне Горе, 2009. година.
- ✓ Геодетска истраживања: подаци о конфигурацији терена и границама слива, израђени у претходним студијама: Студија ревитализације и заштите Плавског језера, Београд, 2018.

година; Батиметријска и геодетска истраживања Плавског језера, Хидрометеоролошки завод Црне Горе, 2009. година.

- ✓ Извјештај о стратешкој процјени утицаја на животну средину за Просторно-урбанистички план општине Плав, јун 2020. године.

3.2. Примјена методе лидара LiteMapper 6800-400 LIDAR system за геодетска снимања Плавског језера

Истраживање западне и јужне обале језера, геодетска мјерења ријеке Лим урађена су уз помоћ методе лидара тј. подаци су преузети од стране Управе за некретнине Црне Горе у гриду 10x10 m. Преузето је 338.955 тачака, а истраживање од значаја било је од обалне линије језера са коте од 907 m до коте од 910 m, односно, зоне плављења. Преузети подаци коришћени су за израду топографске подлоге. Снимане су притока Плавског језера Луча и отока Лим, мјерена лијева обала ријеке Луче низводно, моренска брана на сјеверној страни језера (Институт Јарослав Черни, 2017).

3.3. Примјена батиметријске методе уз помоћ једноснопног ултразвучног дубиномјера Navisaund 215

Ријеке Луча и Лим су снимане батиметријском методом, ултразвучним једноснопним дубиномером Navisaund 215 (Институт Јарослав Черни, 2017). Укупно су снимане 65.144 дубине које су затим трансформисане у коту, у односу на референтну тачку мјерења од 907.10 m. Користећи ручни дубиномер и ГПС уређај снимљена је моренска брана са 126 тачака а контролни профил ријеке Луче са 89 тачака. На основу свих прикупљених података формиран је ДМТ (дигитални модел терена) на основу којег су генерисани подужни и попречни профили. Софтвер Gavran Civil Modeler 2013 употријебљен је за моделирање (Институт Јарослав Черни, 2018).

3.4. Методе анализа наноса

3.4.1. Примјена Методе потенцијала ерозије за анализу ерозионих процеса

Метода Потенцијала „МПЕ" (Гавриловић 1972, Dragićević et al., 2016, Globevnik et al., 2003, Fanetti, Vezzoli 2007, Dragićević et al. 2017, Ristić et al., 2011) коришћена је за дефинисање продукције наноса. Уведена је у праксу уређења бујичних водотокова 1972. године, а са развојем савремених технологија, посебно даљинске детекције и Географских информационих система (GIS), значајно је унапријеђена њена примјена у анализи и мониторингу животне средине (Malaviya et al., 2010). Примјеном GIS-a (Mason, 2005) и AutoCAD Map-a (Hobbs, Chan, 1990), ова метода је добила на значају и омогућила прецизнију просторну анализу ерозионих процеса и продукције наноса (Anđelković, 2019). Метод је

настао као резултат вишегодишњег рада на терену, који је обухватао систематична истраживања, посматрања и мјерења на бујичним сливовима Јужне, Западне и Велике Мораве, као и слива Ибра, Тимока и Вардара (Gavrilović, 1962; Gavrilović, 1972). Заслугом ових истраживања, основна верзија методологије развијена је већ 1954. године у оквиру лабораторије Шумарског факултета Универзитета у Београду и Института за водопривреду „Јарослав Черни“ у Београду. Сви финални прорачуни на основу МПЕ базирани су на подацима који се формирају процедуром обраде „карте ерозије“ израђене према прописаним процедурама „Методе квантитативне класификације ерозије“. Основна карактеристика методе је смањивање субјективне грешке при процјени коефицијената на прихватљив ниво, а развој и унапређење методе усмјерен ка њеној елиминацији. То је семиквантитативна метода која омогућава процјену интензитета ерозије, укупне годишње продукције ерозионог наноса и годишње количине транспортованог вученог и суспендованог ерозионог наноса. Коефицијент ерозије (Z) је основна величина којом се класификује интензитет и категорија ерозије.

Метод је нашао широку примјену не само у државама насталим на простору бивше СФРЈ, као што су Босна и Херцеговина (Lovrić, Tošić, 2018; Tošić et al., 2012), Сјеверна Македонија (Минчев, 2014; Blinkov, 2015), Црна Гора (Spalević et al., 2014), Хрватска (Petras et al., 2005; Dragićević, 2016) и Словенија (Zemljic, 1971; Globevnik et al., 2003, Zorn et al., 2007), већ и у бројним другим земљама свијета, као што су Њемачка (De Cesare et al., 1998), Италија (De Vente et al., 2006; Fanetti, Vezzoli, 2007; Milanesi et al., 2014), Аргентина (Rafaelli et al., 1998), Белгија (De Vente, Poesen, 2005), Грчка (Stefanidis et al., 1998; Emmanouloudis, Filippidis, 2002; Emmanouloudis et al., 2003; Kalinderis et al., 2009), Мароко (Ahmed, 2019), Ирак (Salahalddin et al., 2016), Иран (Amini et al., 2010), Бразил (da Silva et al., 2014; Lense et al., 2023), Чиле (Kazimierski et al., 2013) и Колумбија (Piña, 2015), као и у новијим истраживањима која су даље унаприједила примјену ове методе (Polovina et al., 2021; Polovina et al., 2024).

Методом се могу процијенити различити типови ерозије попут површинске, ријечне (флувијалне) и латералне ерозије. Имајући у виду да је ерозија феномен који се јавља на цјелокупној површини, најрационалнији је приказ површинске заступљености ерозије путем картографског приказа, односно путем „карте ерозије“. Израчунавање коефицијента ерозије (Z) врши се према следећем обрасцу:

$$Z = X \cdot a \cdot Y \cdot \left(\varphi + \sqrt{I}\right) \tag{3.1}$$

Где је: X- коефицијент начина коришћења земљишта; a- коефицијент антиерозионог уређења површине; Y- коефицијент отпора земљишта на ерозију; φ- коефицијент уоченог процеса ерозије и I- средњи пад површине за коју се израчунава коефицијент ерозије.

Количина продукованог материјала у сливу се рачуна према формули:

$$W = T \cdot Pa \cdot \pi \sqrt{Z^3} \cdot F \quad (3.2)$$

где је: W-укупна продукција ерозионог материјала у сливу изражена у m^3·god; t- температурни коефицијент; Pa - просјечна годишња количина падавина (mm); Z- коефицијент ерозије a F- површина истраживаног подручја (km^2), за коју се процјењују ерозиони губици, t- средња годишња температура ваздуха на истраживаном подручју [°C]. Температурни коефицијент се рачуна према формули:

$$T = \sqrt{\frac{t}{10}} + 0{,}1 \quad (3.3)$$

За податаке о проносу наноса на хидрометријском профилу, користи се сљедећа формула:

$$Ggod = T \cdot Hgod \cdot \pi \cdot \sqrt{Z^3} \cdot F \cdot Ru \quad (3.4)$$

где је: Ggod- укупан пронос наноса изражен у m^3·god, Ru- представља коефицијент ретенције наноса, а који се рачуна према следећој формули:

$$Ru = \frac{\sqrt{O \cdot D}}{0{,}2 \cdot (L+10)} \quad (3.5)$$

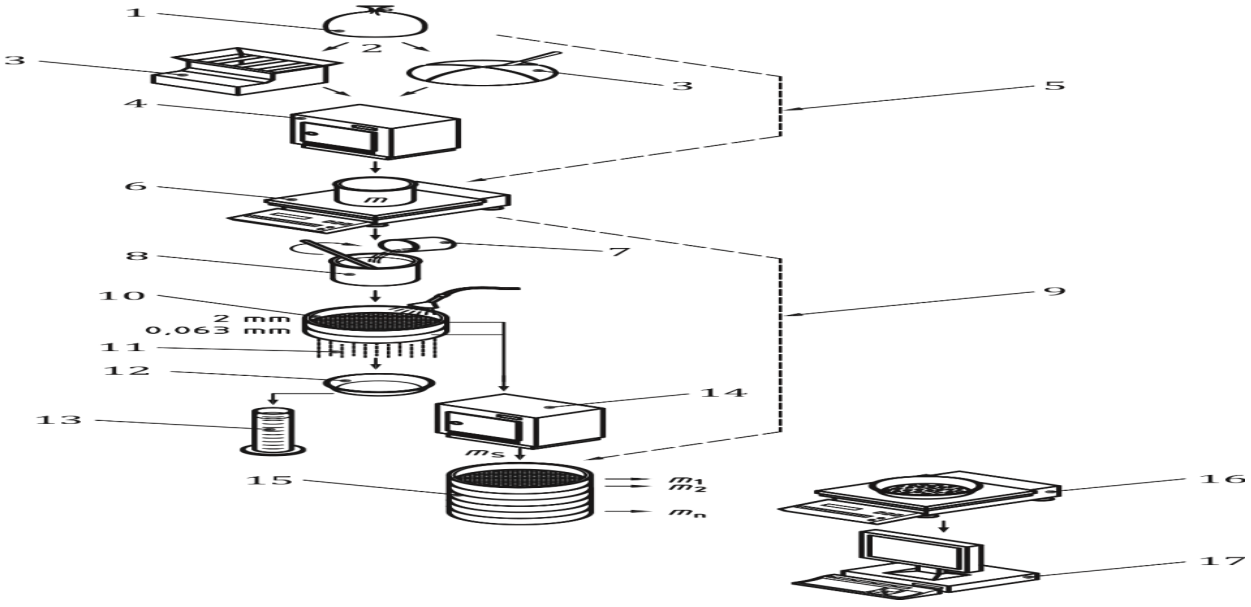
гдје O- представља обим слива у km, L- представља дужину слива у km, D- представља средњу висинску разлику слива у km.

3.4.2. Примјена стандарда MEST EN ISO 17892-4:2021 у циљу одређивања гранулометријског састава рјечног наноса

ГСТ (гранулометријски састав земљишта) резултат је гранулометријске анализе која се своди на одређивање величине (промјера) честица и њихове расподјеле у укупној количини. Постоји преко 400 метода за њено одређивање, имајући у виду да се често полемише о начину одређивања величине честице (Loveland и Whalley, 2000). Гранулометријски састав земљишта, као кључан фактор у анализи земљишта за разумијевање и објашњење ерозионих процеса, представља један од основних описних параметара земљишта (Smith et al., 2018). Он се користи у процјени физичко-механичких својстава, класификацији, као и у оцјени погодности земљишта за планиране захвате, било као индикатор или као директна мјера

(Mulabdić et al., 2018). Методе за одређивање гранулометријског састава земљишта (ГСТ), у зависности од величине честица, могу се подијелити на оне које се користе за одређивање састава крупнозрнастих земљишта са честицама пречника већим од 75 μm (шљунак и пијесак) и оне за ситнозрнаста земљишта са честицама пречника мањим од 75 μm (прах и глина). Одређивање гранулометријског састава шљунка и пијеска најчешће се изводи сијањем (мокро или суво) док се за прашину и глину користе методе праћења таложења (метода пипетирања) или хидрометријска анализа ареометрирање (Gavrić, 2021). На Слици 3.1 је дата општа процедура сијања. Иако почетни узорак може бити влажан, и иако се током припреме узорка може користити испирање кроз сито (ради уклањања ситних честица или нечистоћа), сам тест просијавања којим се одређује маса материјала задржаног на сваком ситу увијек се изводи на осушеном узорку.

За просијавање коришћена су сита у складу са стандардом ISO 17892-4:2016 (E).



Слика 3.1. Општа процедура сијања (European standard, EN ISO 17892-4, 2016)

Опис, легенда

1.Узорак
2.Метода сувог узорка
3.Резање или четвртање
4.Сушење
5.Метода влажног узорка
6.Измјерена количина
7.Средство за дисперговање
8.Квашење или натапање
9.Суво одвајање (алтернативна метода)
9.Суво одвајање (алтернативна метода)
10.Одвајање и прање
11.Испаравање
12.Сакупљање материјала <0,063 mm
13.Тест седиментације
14.Сушење задржаног материјала
15.Сијање
16.Материјал за мјерење на сваком ситу
17.Резултати прорачуна теста

3.4.2.1. Припрема узорка

Влажна припрема је пожељна за земљишта са честицама мањим од 0,063 mm, јер коришћење суве методе припреме може унијети значајне грешке. Припреми се репрезентативан тестни узорак методом мијешања (рифлинг) или четвртања узорка. Потребна почетна влажна маса тестног узорка зависи од максималног пречника честице (Dmax) и садржаја воде у земљишту. Сува маса тестних узорака треба да буде онако како је дата у Табели 3.1.

Табела 3.1. Препоручена минимална маса за сијање

Пречник честица Dmax[a] mm	Препоручено минимална маса (g) [b]
<2,0	100
2,0	100
6,3	300
10	500
20	2 000
37,5	14 000
63	40 000
а) Максимални пречник честица земљишта, искључујући све присутне крупније честице. б) Коришћење узорка мање масе од препорученог минималног износа захтијева опрез, иако може бити довољно за сврху теста.	

За вриједности мање од 20 mm минималну масу треба процијенити интерполацијом вриједности из Табеле 3.1. За вриједности Dmax веће од 20 mm препоручена минимална маса (m_{min}, kg) треба да се израчуна према формули (EN ISO 17892-4:2016):

$$\text{M min} = [\frac{D\ max}{10}]^2 \quad (3.6)$$

Земљиште се мора претходно третирати прије просијавања, ради уклањања растворених соли, органских и/или кречњачких супстанци. Ако се користи суви узорак, одређује се маса узорка (m) на најближих 0,1 g или 0,1% масе. Ако се користи влажан узорак, одређује се влажна маса узорка (mv) на најближих 0,1 грам или 0,1% масе као и садржај воде у узорку сушењем одвојеног узорка у складу са стандардом ISO 17892-1. За узорке са крупним шљунком или облутцима, може бити неопходно извршити почетно одвајање на одговарајућем ситу, да би се избјегло преоптерећење мањих наредних сита. За ово почетно одвајање препоручује се сито величине од 20 mm јер је то граница између средњег и крупног шљунка, али се могу користити и друга сита. Ако је узорак смањен одређивање садржаја воде ће се одредити у складу са ISO 17892-1 на репрезентативном узорку материјала који пролази кроз сито за одвајање. Ако је

узорак смањен, одређивање садржаја воде ће се извршити у у складу са ИСО 17892-1, на репрезентативном узорку материјала који пролази кроз сито за одвајање. Очисти се материјал задржан на ситу за одвајање прањем или лаганом четком да би се уклонио било који лепљиви фини материјал. Задржани материјал се осуши и вага са прецизношћу од 0,1 грам или 0,1 % укупне масе (m). Дода се материјал који је уклоњен претходним чишћењем и који је мањи од величине сита за одвајање коришћеног у оригиналном материјалу. Утврђују се резултујућа маса материјала (m_s) до 0,1 gr или 0,1% укупне масе (m). Маса материјала се може смањити, под условом да добијени мањи узорак задовољава минималне масе дате у Табели 3.2. Након тога се стави материјал финији од сита за одвајање у послужавник или канту и покрије водом. Остави се да одстоји најмање 1 h и често се мијеша. По потреби, у воду се додаје дисперзиони агенс ради спречавања флокулације и потпуног раздвајања фине глинене фракције која испуњава међупросторе између крупнијих седиментних честица. Узорак се испере кроз сито од 2 m које је уграђено у сито од 0,063 mm све док вода не постане кристално чиста. У мјешовитим земљиштима, може бити корисно да се суспендовани материјал прво просије кроз сито и испере све док вода која пролази кроз сито од 0,063 mm не почне да тече бистра, и тек тада се додаје исталожени грубљи материјал. Потребно је утврдити да ни једно сито не буде преоптерећено. Материјал који пролази кроз сито од 0,063 mm не треба задржати. Комбиновани материјал задржан на ситама од 2 mm и 0,063 mm се осуши до константне вриједности масе, а затим измјери на најближих 0,1 грам или 0,1% укупне суве масе узорка (m_s). Масе задржане на сваком ситу не смију да прелазе вриједности наведене у Табели 3.2.

Табела 3.2. Максимална маса земље задржана на сваком ситу

Номинална величина отвора сита	Максимална маса земље на ситу пречника		
	450 mm	300 mm	200 mm
mm	kg	kg	g
0,063			40
0,20			70
0,63			125
2,0			220
6,3	2,0	0,8	
10,0	2,5	1,1	
20,0	3,5	1,5	
37,5	4,8	2,1	
63,0	6,3	2,8	

Максимална маса на величинама сита које нису наведене изнад изводи се из формуле:

$$M = \frac{A \times \sqrt{d}}{200} \quad (3.7)$$

где је: M- максимална маса земље задржана на ситу, A- површина попречног пресјека сита (mm^2), d- величина отвора сита (mm).

На основу резултата просијавања и мјерења узорака узиманих из корита ријеке Луче урађене су гранулометријске криве за сваки узорак и са њих очитаване вриједности карактеристичних пречника наноса. Вриједности пречника зрна наноса служе за израчунавање коефицијента неједнородности наноса (Бухин, 1972) за сваки узорак по:

Allen Hazen-у: $U = \frac{d_{60}}{d_{10}}$ (3.8)

В.А.Мелентев-у: $Km = \frac{d_{90}}{d_{10}}$ (3.9)

V.S.Knoroz-у: $Kk = \frac{d_{95}}{d_5}$ (3.10)

L.B.Ruhin-у: $s = \sqrt{\frac{d_{75}}{d_{25}}}$ (3.11)

Крумбеин-у: $Kd = \sqrt{\frac{d_{97,5}}{d_{50}}}$ (3.12)

3.5. Анализа контаминације земљишта

У процјени контаминације земљишта разлличитим загађујућим материјама, посебно тешким металима врло важну улогу играју индекси загађења. Веома су користан алат у процјени квалитета земљишта и степена одрживости екосистема у пољопривредним подручјима. Ерозивни процеси у сливу Плавског језера не условљавају само транспорт минералног материјала, већ и транспорт загађујућих материја адсорбованих на честицама земљишта. Тешки метали се у земљишту најчешће везују за фину фракцију (глина и прах) и органску материју, која се при површинском спирању најлакше мобилише. Бујични токови стога представљају механизам преноса контаминације из педосфере у језерски седимент, при чему Плавско језеро функционише као природни акумулатор загађења.

Geochemical Background (GB) – Background концентрација је дефинисана као референтна вриједност, педогеохемијска вриједност, референтна вриједност преиндустријског периода

или вриједност нултог стања земљишта (SRPS EN ISO 19258:2013, Квалитет земљишта – Смјернице за одређивање нултог стања) и значајна је за прорачун појединих индекса загађења.

Према Gałuszka и Migaszewski (2011) обогаћење природних концентрација елемената представља „антропогену аномалију“. Поједини истраживачи сматрају да су индиректне методе базиране на претпоставци погрешне, и да су методе које нису засноване на статистичким претпоставкама поузданије (Kicińska, Turek, 2017). Једна од таквих метода се базира на употреби вриједности медијане и апсолутне девијације медијане, резистентна је на утицај аутлајера (eng. outlier), и даје ужи опсјег вриједности.

Прорачун референтних вриједности врши се и на основу концентрација тешких метала из најдубље узоркованог слоја у профилу земљишта. Употријебљева се рачунска метода према сљедећој формули:

$$GB = MEDIAN + 2 \cdot MAD \tag{3.13}$$

где је GB – референтна вредност, MEDIAN – медијана укупног скупа, тј. садржаја елемената из најдубљег слоја свих профила у B-хоризонту (30–60 cm), који је представљао најдубљи конзистентно узорковани слој у свим профилима, MAD – медијана апсолутних девијација. Позадинске вриједности за концентрације тешких метала у специфичном окружењу се углавном одређују или директно коришћењем емпиријске геохемијске методе или индиректно коришћењем статистичких метода. Геохемијске позадинске вриједности су просјечне концентрације метала у континенталној кори, просјечне концентрације метала у шкриљцима и просјечне концентрације метала у минералошки и текстурно упоредивим узорцима седимената блиског језгра. Геохемијске позадинске (background) концентрације метала у земљишту (седименту, стијенама) – референтне вриједности - се узимају као просјечне вриједности садржаја метала у Земљиној кори још од прединдустријског доба (Harikumar et al., 2010). Да би се утврдио ниво загађења седимената, неопходно је познавати природне концентрације метала из периода прије индустријског утицаја, које служе као основа за поређење. Те референтне вриједности се најчешће одређују анализом дубљих слојева седимента, гдје су концентрације уједначене и одражавају природно стање (Abrahim et al., 2008). Употреба просјечног састава континенталних шкриљаца као позадинских вриједности има недостатак што се не узима у обзир природна геохемијска варијабилност и

стога је превише општа за рјечне седименте. Слично томе просјечан састав земљине коре треба схватити као опсјег а не као једну вриједност. У овом истраживању за израчунавање позадинских вриједности коришћена је геохемијска метода. Геохемијске позадинске вриједности просјечне концентрације метала у Земљиној континенталној кори износе: арсен (As) 1,80 mg/kg, кадмијум (Cd) 0,20 mg/kg, хром (Cr) 100 mg/kg, бакар (Cu) 55,00 mg/kg, никл (Ni) 75 mg/kg, жива (Hg) 0,08 mg/kg, олово (Pb) 12,50 mg/kg и цинк (Zn) 70,00 mg/kg (Taylor, 1964).

3.5.1. Појединачни индекс загађења -Pollution Index (PI)

Појединачни индекс загађења Pollution Index (PI) – се користи како би се одредило који штетни микроелемент представља највећу пријетњу по екосистем. Такође користи се и за детерминацију одређених комплексних индекса загађења. На основу PI индекса, дата је класификација загађења земљишта (Табела 3.3). Рачуна се према формули (Håkanson, 1980):

$$PI = Cn/GB \tag{3.14}$$

где је Cn – концентрација тешког метала у земљишту/наносу, GB – background концентрација.

Табела 3.3. Класификација земљишта према PI индексу

Вриједности Pi индекса	Степен загађености
PI<1	Незагађено
1<PI<2	Слаб степен загађености
2< PI< 3	Умјерени степен загађености
3< PI< 5	Велики степен загађености
PI >5	Врло велики степен загађености

3.5.1.1. Pollution Load Index (PLI) - Индекс оптерећења екосистема (земљишта) загађењем

Pollution Load Index (PLI) је један од комплексних индекса. Служи да се укаже на погоршање земљишних услова усљед акумулације тешких метала у седименту (Tomlinson et al., 1980). Израчунат је као геометријска средина појединачних фактора загађења на основу сљедећег израза загађења:

$$PL = (CF_1 \cdot CF_2 \cdot CF_3 \cdot \ldots \times CF_n)^{1/n} \tag{3.15}$$

где је: CF– појединачни индекс загађења, n– укупан број метала који се анализира.

Класе земљишта према PLI индексу се дијеле у: PLI<1– незагађено земљиште; PLI=1 гранична вриједност загађености земљишта и PLI>1– смањен квалитет земљишта усљед загађења.

3.5.1.2. Немеров индекс загађења- Nemerow Pollution Index (PIN)

Немеров индекс загађења омогућава процјену укупног степена загађења земљишта и укључује садржај свих тешких метала. Рачуна се на основу сљедећег израза (Nemerow, 1985):

$$PI_{\mathrm{N}} = \sqrt{\frac{\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} PI\right)^2 + PI_{max}^2}{2}} \tag{3.16}$$

Табела 3.4. Класификација загађења земљишта према Немеровом индексу загађења

Вредности PI_N индекса	Степен загађености
$PI_N<0,7$	Нема загађења
$0,7< PI_N< 1$	Подручје предострожности
$1< PI_N< 2$	Подручје слабог загађења
$2 <PI_N<3$	Подручје средњег загађења
$PI_N >3$	Подручје озбиљног загађења

гдје су: PI– израчунате вриједности појединачних индекса загађења, PImax– максимална вриједност појединачног индекса загађења свих метала у узорку, а n укупан број метала који се анализира. Дато је пет класа контаминације земљишта на основу овог индекса загађења (Табела 3.4).

3.5.1.3. Геоакумулациони индекс - Geoaccumulation index (Igeo)

Геоакумулациони индекс показује контаминацију земљишта тешким металима, на основу односа њихових концентрација у површинском слоју и одговарајућих референтних вриједности. Геоакумулациони индекс (Igeo) је развио Muller 1969. године у циљу детерминације загађења које потиче од природних и људских активности. Рачуна се на основу сљедеће формуле:

$$I_{geo} = log_2\left[\frac{Cn}{1{,}5 \cdot GB}\right] \tag{3.17}$$

гдје је: Cn– концентрација тешког метала у земљишту/наносу, GB– геохемијска позадинска вриједност метала, а 1,5 је константа која служи да би кориговала могуће варијације background концентрација у земљишту. Класе и степен контамимације за вриједности представљене су у Табели 3.5:

Табела 3.5. Класификација земљишта на основу геоакумулационог индекса

Вредности Igeo индекса	Степен загађености земљишта
Igeo > 0	Незагађено
0 < Igeo < 1	Незагађено до средње загађено
1 < Igeo < 2	Средње загађено
2 < Igeo < 3	Средње до јако загађено
3 < Igeo < 4	Јако загађено
4 < Igeo < 5	Јако до врло јако загађено
Igeo > 5	Веома јако загађено

3.5.1.4. Анализа токсичних јединица- Analysis of Toxic Units (ΣTUs)

Збир токсичних јединица (ΣTU) се сматра потенцијалном акутном токсичношћу опасних елемената у узорцима седимента.

Анализа токсичних јединица се рачуна као однос процијењене концентрације опасних елемената у седименту и нивоа вјероватног ефекта (Niu et al., 2015). Умјерена до озбиљна токсичност опасних елемената остаје у седименту када је збир токсичних јединица за све узорке седимената већи од 4. TU се рачуна на основу сљедећег израза:

$$TU = (C_m/PEL) \tag{3.18}$$

Гдје је C_m концентрација тешких метала у у седименту и PEL ниво могућих ефеката тешких метала у седименту.

$$\Sigma Tus = TUmetal_1 \cdot TUmetal_2 \cdot TUmetal_3 \cdot TUmetal_4 \cdot \dots\dots\dots \cdot Tumetal_n \tag{3.19}$$

3.5.1.5. Фактор контаминације- Contamination Factor (CF)

Фактор контаминације је познат као појединачни индекс загађења. Он приказује антропогени утицај на загађење животне средине. Представља однос концентрације метала на истраживаном подручју и средње вриједности концентрације тешких метала у незагађеном земљишту Европе. Контаминациони фактор CF израчунат је на основу формуле:

$$\boldsymbol{CF = \frac{Cmetal}{Cbackground}} \quad (3.20)$$

гдје је: $\boldsymbol{C}_{\text{metal}}$– измјерена концентрација метала у узорку,

$C_{\text{background}}$– референтна (позадинска) концентрација тог метала у незагађеном земљишту.

Нивои контаминације могу се класификовати на основу њиховог интензитета на скали која се креће од 1 до 6: 0–нема конатаминације, 1–нема до средње изражена, 2–умјерена контаминација, 3–умјерено до јака контаминација 4–јака контаминација, 5– јака до веома јака, ≥ 6–веома јака контаминација. Према вриједности CF дефинисано је шест класа загађења, при чему највиша класа одговара вриједности концентрацији метала која је сто пута већа од његове позадинске (незагађене) вриједности у земљишту.

3.5.1.6. Фактор обогаћења- Enrichment Factor (EF)

Фактор обогаћења Enrichment factor (EF)– се користи како би се разликовали тешки метали природног поријекла и они који потичу од антропогених активности (Štrbac et al., 2013). За израчунавање потребно је изабрати позадинску структуру и референтни материјал, који снажно могу утицати на резултат прорачуна. Како би се идентификовао одређени ефекат антропогених активности, тешки метали који се карактеришу ниским варијабилитетом појављивања у земљишту (Loska et al., 2004; Mazurek et al., 2017), и користе се као референтни елементи у геохемијским истраживањима (Loska et al., 2004; Mazurek et al., 2017), узимају се као контролни параметри и у анализираним узорцима у геолошкој подлози. Референтни елементи треба да показују минималну или занемарљиву мобилност по дубини профила, односно да буду релативно стабилни у земљишту. У пракси се као референтни елементи најчешће користе Fe, Al, Mn, Ca, Ti или Sc (Loska et al., 1995; Loska et al., 2004; Uduma и Awagu, 2013; Barbieri, 2016). Просјечна концентрација Mn у земљишту на свјетском нивоу износи 730 mg·kg-1 (Ure и Berrow, 1982) или 950 mg·kg-1(Ride, 2005), која је нешто нижа у односу на просјечну вредност Mn на проучаваном подручју (976 mg·kg-1). Манган је углавном везан за земљишну матрицу и једна је од главних компоненти земљине коре (Uduma и Awagu, 2013; Chen et al., 2015; Jiang et al., 2017), а наводи се као референтни метал за прорачун фактора обогаћења (Wiener, 1979, Loska et al., 1995; Iqbal и Shah, 2015; Poh Tahir, 2016; Barbieri, 2016; Bu et al., 2016), и у овој дисертацији се користи као референтни елеменат. Референтни материјал је, по правилу, конзервативан и стабилан у просторним и временским условима, а најчешће се користе елементи као што су Fe, Mn, Sc и Al, односно метали са

ниским варијабилитетом појављивања. Према Ergin et al., (1991) фактор обогаћења (EF) тешким металима дефинисан је на сљедећи начин**:**

$$EF=\frac{(M/Al)\ sample}{M/Al)\ background} \quad (3.21)$$

Контаминациони нивои се могу класификовати на основу њиховог интензитета на скали у распону од 1 до 6 (0=изостанак засићења, 1=изостанак до средње засићење, 2=умјерено, 3= умјерено до јако, 4=јако згађење, 5=јако до веома јако загађење, 6=веома јако загађење). Уколико EF има вриједност између 0,5 и 1,5 испитивани метал има природно поријекло, уколико је EF већи од 1,5 тада је његово поријекло претежно антропогено (Štrbac et al., 2013; WU Y.G., et al., 2010).

3.5.1.7. Индекс потенцијалног еколошког ризика- Potential Ecological Risk Index (RI)

Коришћењем индекса потенцијалног еколошког ризика (PERI или RI) може се проценити потенцијални еколошки ризик узрокован тешким металима у земљишту. Уз помоћ овог метода могу се процијенити четири параметра као што су концентрација, врста загађивача, ниво токсичности и осјетљивост водног тијела у земљишту. Индекс потенцијалног ризика се израчунава и дефинише према следећој једначини:

$$RI = \Sigma_{i=1}^{n} E_r^i \quad (3.22)$$

Индекс потенцијалног еколошког ризика појединачних метала, E_r^i израчунат је на основу сљедећег израза:

$$E_r^i = T_f^i \cdot C_f^i \quad (3.23)$$

$$\mathbf{C_f^i = C_o^i / C_n^i} \quad (3.24)$$

RI -Håkanson (1980) се рачуна као сума свих ризичних фактора за тешке метале у земљишту. E_r^i је једночлани потенцијални еколошки фактор ризика, фактор токсичног одговора на дату супстанцу, који објашњава дату супстанцу, који узима у обзир дату супстанцу, токсични захтјев и захтјев осјетљивости, C_f^i је контаминациони фактор, C_o^i је концентрација метала у седименту, C_n^i је референтна вриједност за метале (Табела 3.6).

Табела 3.6. Референтне вриједности (C_n^i) и токсични коефицијент (T_r^i) тешких метала у седименту

Тешки метали	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
C_n^i (μg/g)	9,50	0,30	123,2	28,30	0,10	57,00	19,80	84,00
T_r^i	10	30	2	5	40	5	5	1

E_r^i је описан у пет категорија: потенцијално низак еколошки ризик E_r^i <40, потенцијално средњи еколошки ризик (40≤E_r^i <80), потенцијално значајан еколошки ризик (80 ≤E_r^i <160), потенцијално висок еколошки ризик (160≤ E_r^i <320) и врло висок еколошки ризик (E_r^i ≥ 320).

RI је индекс потенцијалног еколошког ризика тешких метала и представља мјеру осјетљивости различитих биолошких заједница на дјеловање токсичних супстанци. Вриједности индекса класификују се на сљедећи начин: RI<65 (низак), 65≤RI<130 (средњи), 130≤RI< 260, (знатан) и RI≥ 260 (веома висок еколошки ризик).

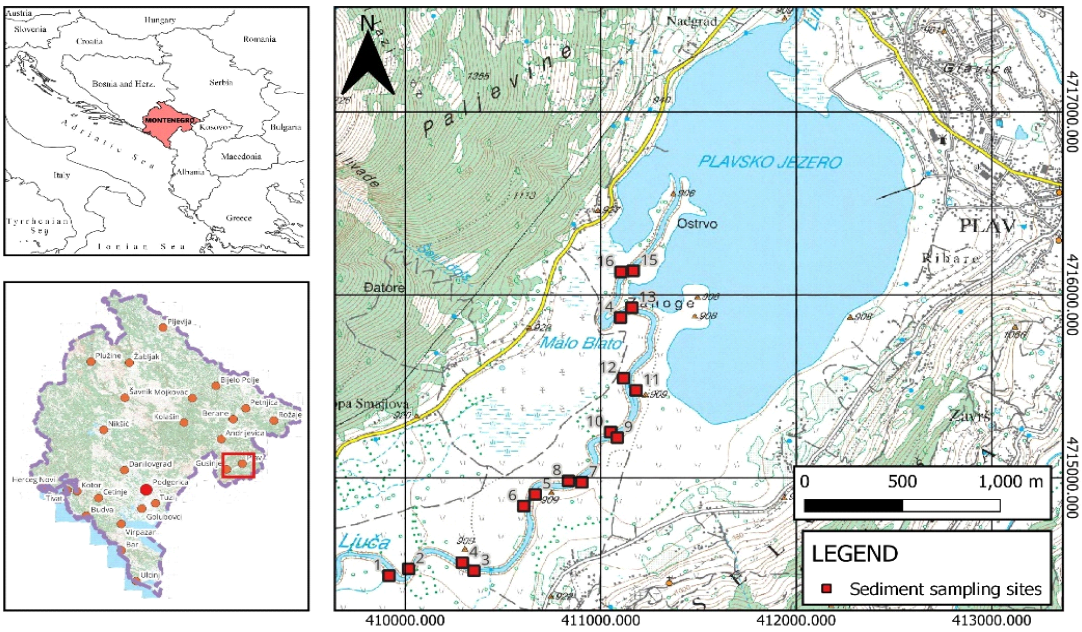
3.5.2. Методе хемијске анализе

3.5.2.1. Локације и период узорковања воде и седимената ријеке Луче

Узорковање воде и седимената ријеке Луче са циљем одређивања концентрација тешких метала, спроведено је у јануару и фебруару 2024 године. Одабир локација за узорковање извршен је у складу са специфичним карактеристикама терена, приступачношћу, геолошким саставом и антропогеним активностима. Узорци воде и седимената прикупљени су узводно од ушћа ријеке Луче у Плавско језеро на укупно девет локација. На Слици 3.2. приказане су локације узорковања. Узорци су прикупљени са десне и лијеве обале ријеке Ључе. Први узорак је узет на 100 метара од ушћа ријеке Луче у језеро. Остали на сваких 200 m узводно.

Седименти (n=9) прикупљени су употребом Екман багера на дубини од 30 cm. Након сакупљања, седимент је хомогенизован, упакован у пластичне вреће и транспортован у лабораторију. Узорци воде узимани су на дубини од 0,50 m испод површине. Сакупљани су у полиетиленским боцама запремине једног литра, а затим чувани у преносивом фрижидеру до

допремања у лабораторију. Концентрације тешких метала у води изражене су у микрограмима по литру (µg/l), док су за седименте исказане у милиграмима по килограму влажне масе (mg/kg).



Слика 3.2. Област истраживања. Локације узорковања означене бројевима од 1 до 9.

У Табели 3.7. приказане су географске координате локација узорковања наноса и воде ријеке Луче.

Табела 3.7. Географске координате тачака узорковања тешких метала у води и седименту ријеке Луче

Редни број локација	Географске координате
1. Л1	42°35'44.53"N, 19°55'12.02"E
2. Л2	42°35'42.09"N, 19°55'10.17"E
3. Л3	42°35'40.32"N, 19°55'9.38"E
4. Л4	42°35'37.79"N, 19°55'7.58"E
5. Л5	42°35'36.07"N, 19°55'4.63"E
6. Л6	42°35'34.46"N, 19°55'4.18"E
7. Л7	42°35'34.42"N, 19°55'3.11"E
8. Л8	42°35'34.15"N, 19°55'3.67"E
9. Л9	42°35'34.02"N, 19°55'2.63"E

3.5.2.2. Лабораторијске методе

Лабораторијске анализе воде и седимената урађене су у Центру за екотоксиколошка истраживања Црне Горе у Подгорици. Садржај тешких метала (Cu, Pb, Zn, Cd, Hg, Ni, Fe и As) у води одређен је коришћењем ICP-OES технике (индуктивно повезана плазма, оптичко емисиона спектрометрија). Садржај живе у води одређен је коришћењем директног анализатора живе, док је припрема узорака извршена микроталасном дигестијом у складу са црногорским стандардом MEST EN 13805:2009.

Калибрационе криве у ICP-OES техници за одређивање садржаја метала у води, конструисане су коришћењем раствора припремљених разблаживањем основних раствора 1.000 mg сваког елемента по литру произвођача BT Baker. У Табели 3.8. дате су вриједности за радне таласне дужине и практичне границе квантификације.

Табела 3.8. Таласне дужине и практичне границе кванитификације[1]

Метали	Радне таласне дужине (λ) (nm)	Практичне границе квантификације mg/L
Cu	324,8	0,001
Pb	283,3	0,005
Zn	213,9	0,002
Hg	225,6	0,0005
As	224,5	0,0005
Cd	228,8	0,001
Ni	248,3	0,001
Fe	248,3	0,002

За одређивање садржаја метала у седименту примјењена је метода EPA 3051A (US EPA, 2007). Хомогенизовани узорак од 0,5 грама је измјерен, просијан на ситу промјера 0,05 mm затим стављен у посуду за потапање у који је додата азотна кисјелина (9 ml) и концентрована хлороводонична кисјелина (3 ml). Посуда је након тога затворена и стављена у микроталасну пећницу под притиском. Након дигестије охлађени узорак је пребачен у волуметријске боце

[1] APHA, AWWA, WEF (2017). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd Edition. American Public Health Association, Washington DC.

.

од 25 ml и допуњен до ознаке дејонизованом водом. Анализа садржаја метала у припремљеним узорцима извршена је коришћењем ICP-OES инструмента Thermo iCAP7400 (Thermo Fisher Scientific,Waltham, MA, USA). Калибрација је обављена коришћењем раствора припремљених разблаживањем основних стандардних раствора концентрације 1000 mg/(L) за сваки елемент, произвођача Sigma Aldrich (Sigma Aldrich, St. Louis, MO, USA).

Садржај живе у узорцима седимената одређен је помоћу модерног анализатора живе AMA-254, Leco (Leco Corporation, St. Joseph, MI, USA). Раствори су припремљени разблаживањем основних стандардних раствора 1000 mg по l сваког елемента користећи произвођач Sigma Aldrich (Sigma Aldrich, St. Louis, MO, USA). Референти материјал са проширеном мјерном несигурношћу и граница квантификације успостављени су у Екотоскиколошком центру.

У оквиру анализе квалитета воде и седимента ријеке Луче, извршено је узорковање на девет географски дефинисаних локација дуж тока ријеке (Табела 3.9). Узорци воде и седимента подвргнути су лабораторијским испитивањима ради одређивања концентрација одабраних тешких метала: бакар (Cu), олово (Pb), цинк (Zn), кадмијум (Cd), жива (Hg), никал (Ni), гвожђе (Fe) и арсен (As). За потребе упоређивања истраживачких података о води коришћени су: Уредба о опасним и штетним материјама у водама (Сл. гласник БиХ, 2007), Правилник о начину и роковима утврђивања статуса површинских вода Црне Горе, као и Уредба о категоризацији опасних материја у води (Сл. лист ЦГ 5/2011, 32/11, 48/15, 84/18). Према Уредби БиХ (2007), граничне концентрације тешких метала у води износе 0,5 μg/L за кадмијум (Cd), 0,02 μg/L за живу (Hg), 2–10 μg/L за бакар (Cu), 50–80 μg/L за цинк (Zn), 2 μg/L за олово (Pb), 50 μg/L за арсен (As), 100 μg/L за гвожђе (Fe) и 15–30 μg/L за никал (Ni). Са друге стране, према црногорском Правилнику, прописане граничне вриједности износе ≤ 0,45 μg/L за кадмијум (Cd), 0,07 μg/L за живу (Hg), 14 μg/L за олово (Pb), 34 μg/L за никал (Ni) и 21 μg/L за арсен (As).

3.5.2.3. Процјена квалитета седимената

Примјена смјерница за процјену квалитета седимената представља значајан алат за идентификацију степена контаминације, јер се концентрације загађујућих материја у седименту упоређују са утврђеним стандардима квалитета. Црна Гора тренутно нема прописе који регулишу процјену квалитета седимената, па су резултати анализа седимената ријеке Луче упоређени са српском Уредбом о граничним вриједностима загађујућих материја у површинским и подземним водама и седименту („Службени гласник РС“, бр. 50/2012), канадским смјерницама (CCME Sediment Quality Guidelines, 2001) као и холандским стандардима за квалитет седимената (VROM, 2000). Према канадским смјерницама

дефинисане су двије кључне вриједности: ISQGs (Interim Sediment Quality Guidelines), које представљају привремене препоруке изнад којих је могућ негативан утицај на акватичне организме, и PEL (Probable Effect Level), који означава концентрације изнад којих је вјероватан штетан утицај на акватичне организме.

Овакво поређење омогућава не само процјену тренутног стања, већ и међународно упоредиво вредновање резултата, што је од посебног значаја у одсуству националних прописа.

Табела 3.9. Стандарди квалитета и препоруке за седимент према холандској методологији, канадском законодавству, ICPDR -у и Уредба о ГВЗМ[2] у површинским и подземним водама и седименту и роковима за за њихово достизање (Службени гласник РС, бр. 50/12).

Класа једињења		Холандска методологија		Кандаске препоруке		ICPR	Уредба о ГВЗМ у пов.и подзм.водама и седименту и роковима за за њихово достизање		
		Референтна вриједност	Инвертна вриједност	ISQG	PEL	Циљне вриједн.	Циљне вриједн.	МДК	Ремедиј. вриједности
Метали									
As	mg/kg	29	55	5,9	17	20	29	42	55
Cd	mg/kg	0,8	12	0,6	3,5	1,2	0,8	6,4	12
Hg	mg/kg	0,3	10	0,17	0,486	0,8	0,3	1,6	10
Pb	mg/kg	85	530	35	91,3	100	85	310	530
Cr	mg/kg	100		37,3	90	-	100	240	380
Cu	mg/kg	36			197	-	36	110	190
Ni	mg/kg	-	-	-	36	-	35	44	210
Zn	mg/kg	140		123	315		140	430	5000
Fe	mg/kg			197				149	

[2] (ГВЗМ)- Граничне вриједности загађујућих материја

3.5.2.4. Методе анализе основних хемијских особина земљишта и наноса

За потребе анализе основних хемијских карактеристика земљишта и вученог наноса примијениле су се стандардизоване електрометријске и хемијске методе, са циљем прецизног одређивања параметара који утичу на ерозију и квалитет седимената. Активна киселост (pH у H_2O) измјерена је електрометријски помоћу pH-метра према стандардима SRPS ISO 10390:2007 и ISO 3696:1987, док је супституциона киселост (pH у 0,01 M $CaCl_2$) утврђена електрометријски по стандарду SRPS ISO 10390:2007. Укупни садржај азота у земљишту и вученом наносу одређен је методом Kjeldahl-a (%) у складу са SRPS ISO 11261:2005, омогућавајући процјену плодности земљишта и потенцијала за транспорт хранљивих материја у хидролошком систему слива.

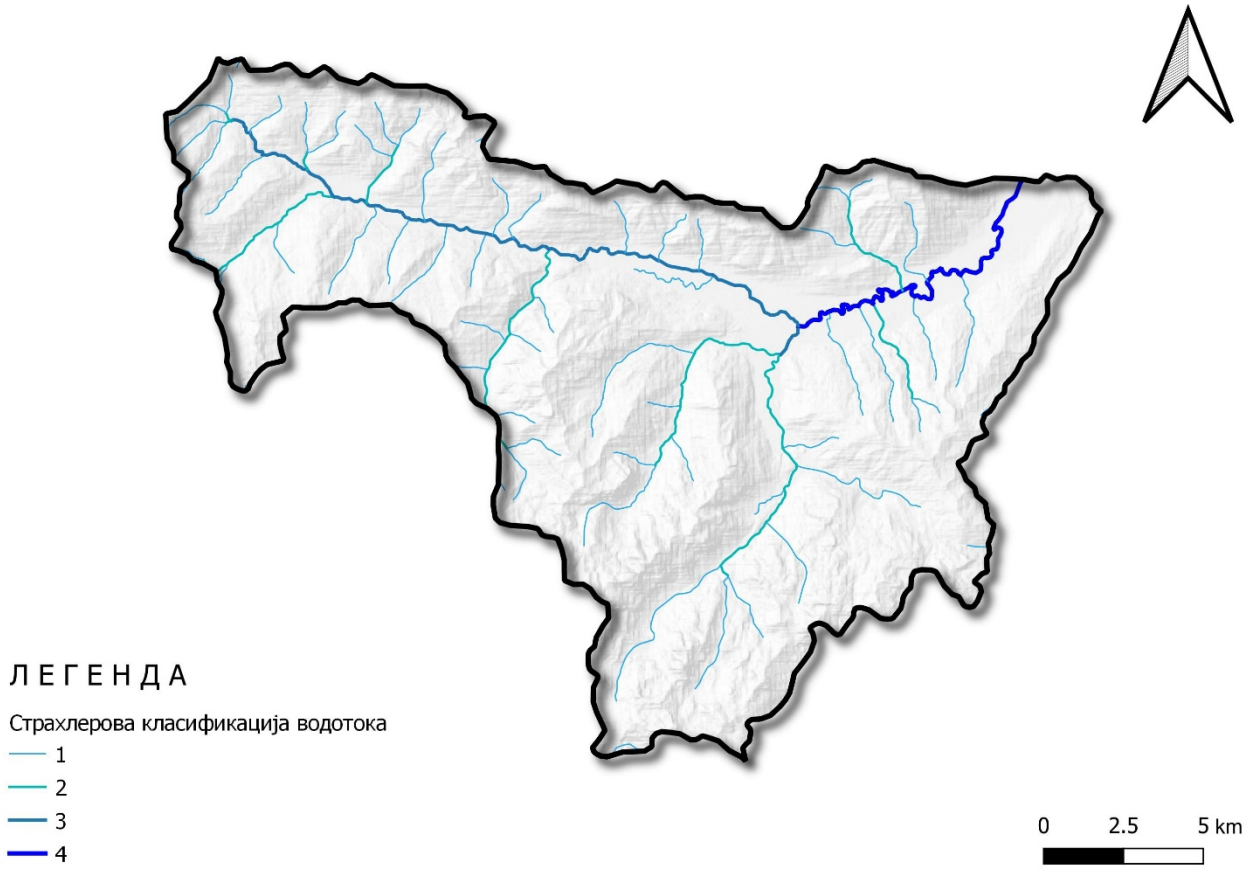
3.5.3. Примјена статистичких и математичких метода анализе добијених резултата

Методе теорије вјероватноће и математичке статистике неопходне су за анализу и процјену појаве хидролошких процеса и екстремних вриједности. Упркос великом броју предложених функција расподјеле вјероватноће, не постоји јединствен модел који би се могао примјењивати у свим хидролошким ситуацијама (Лешчешен, 2019). Статистичка анализа великих и малих вода спроведена је примјеном више дистрибутивних метода, укључујући лог-нормалну, тропараметарску лог-нормалну, Вејбулову, општу расподјелу екстремних вриједности (Generalized Extreme Value, GEV), Гумбелову и лог-Пирсон III расподјелу. Израчунаване су основне статистичке карактеристике узорка максималних годишњих протицаја, обухватајући стандардну девијацију, средњу вриједност, коефицијент варијације и коефицијент асиметрије. Поред анализе великих вода, извршена је и статистичка анализа малих вода, при чему су одређени минимални протицаји за карактеристична трајања (Qmin,1d, Qmin,10d, Qmin,20d и Qmin,30d) примјеном различитих расподјела вјероватноће. За Qmin,1d и Qmin,30d примјењена је лог-нормална расподјела, за Qmin,10d општа расподјела екстремних вриједности (GEV), док је за Qmin,20d коришћена Пирсонова расподјела типа III. Поуздана процјена великих вода представља основни предуслов за правилно димензионисање хидротехничких објеката, имајући значајну улогу како у оптимизацији трошкова изградње, тако и у обезбјеђивању њихове сигурности (Erić, et al., 2019). У овом истраживању KDE метода је примјењена у анализи ерозионих процеса, са циљем просторног приказа и расподјеле противерозионих мјера заштите (Silverman, 1986).

4. ОПШТЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ПЛАВСКОГ ЈЕЗЕРА И СЛИВНОГ ПОДРУЧЈА

Сливно подручје Плавског језера обухвата површину од око 288 km² и убраја се међу најводније предјеле Црне Горе (Станковић, 1968) . Са 1 km² његове површине у просјеку сваке секунде отиче 56,3 l/s воде, што је знатно више него на западним падинама Проклетија гдје се протицај креће између 16 и 38 l/s/km² (Илић, 1994). Саставни дио слива чине слив ријеке Луче и непосредни слив са акваторијом језера. Главне притоке, Грнчар и Врује, које формирају ријеку Лучу, имају бујични карактер и уносе велике количине наноса у језеро. Иако водни биланс није детаљно проучен, сматра се да је количина воде коју Луча уноси у језеро приближно једнака количини воде која из њега истиче (Станковић, 1968).

Хидрографска мрежа овог подручја уско је повезана са глацијалним, флувиоглацијалним и флувиоденудационим процесима, што је још почетком 20. вијека истакао Цвијић (1913). О хидрографији и хидролошким карактеристикама Проклетија писали су и Станковић (1968), Кнежевић (2004), Лутовац (1957) и Лабус (1980). Хидролошки распоред и структура слива Плавског језера приказани су на Слици 4.1.



Слика 4.1. Хидролошка карта слива Плавског језера (извор: аутор)

Ријека Луча настаје спајањем Врује и Грнчара, низводно од Гусиња на надморској висини од 918 метара. Она даје Плавском језеру највећу количину воде (90%) и усјекла је корито преко моренског и флувиоглацијалног наноса, при чему стално засипа језеро наносом разне крупноће. На дужини ријечног тока од 13 km, укупни пад корита износи 10 m, што одговара просјечном паду од 0,76 m/km. Завршава делтом у Плавском језеру и меандрира попут равничарске ријеке. Протицај Луче је практично исти као код Лима у Плаву и он износи 21 m^3/s. Луча прима више притока са лијеве и десне стране (Сулејман-Сејтов поток, Кукића и Радончића поток), а највећа је Мартиновићки поток (Ocokoljić, 1994). Притоке са десне стране долине завршавају се формирањем алувијалних наноса (плавина) на периферији котлине и углавном се користе у сврхе наводњавања. Слив Луче, као и слив Плавског језера, одликује се изразито бујичним карактером (Radojičić, 2005).



Слика 4.2. Ријека Луча (аутор: Данијела Величковић, 21. 8. 2022. године)

Ријека Грнчар настаје од Скроботуше (8 km) и Вучјег потока (8 km), чија саставница је у Велипољу у Албанији на 110 метара надморске висине. Најдужа је ријека Гусињског краја са дужином тока од 24 km. Површина слива износи 138,5 km^2. Извор Скроботуше налази се на планини Вили, у близини Рикавачког језера. На току кроз Горње Полимље, пад ријечног корита је 32 m, што је просјечно 4,8 m/km. Корито је плитко, усјечено у флувиоглацијални

нанос. Због контактног положаја долине и планинских притока, за вријеме високих протицаја има бујични карактер: помјерање корита, засипање обрадивог земљишта, подсијецање обала и слично. Грнчар је погодан за риболов, иако на њему нема заштићених ревира. Тече од запада према истоку Врмошком долином до клисуре Вјетерник, гдје пресјеца границу и улази у Гусињску котлину са широком ријечном долином, а потом Грнчар меандрира и мијења корито наносећи штете пољопривреди. Највећа притока Грнчара је Лепуша (10 km дуга, површине 26 km^2). На профилу Гусиње, Грнчар би могао да има аналогно специфичну издашност од 43,3 $l/s/km^2$, висину отицаја од 1.365 mm, а средње падавине у сливу су 1.800 mm, са коефицијентом отицања од 0,76. Већи дио тока узводно од моста у Гисињу има бујични карактер (Ocokoljić 1994). На основу хидрауличке анализе коју је спровела Управа за воде Црне Горе (2019), идентификовани су могући капацитети за експлоатацију ријечног наноса на три локације у сливу ријеке Грнчар. Процијењене количине износе: Грнчар I– 1.900 тона годишње (1.792 m^3/god), Грнчар II– 2.500 тона годишње (2.358 m^3/год) и Грнчар III– 670 тона годишње (632 m^3/god). Ове вриједности представљају оквирне експлоатационе потенцијале засноване на динамици транспорта наносног материјала, морфолошким карактеристикама корита и хидролошким условима. Ријека Грнчар је, у складу са Одлуком Владе Црне Горе, проглашена водотоком од значаја за државу, што додатно наглашава потребу за одрживим приступом у управљању њеним ресурсима (Uprava za vode Crne Gore, 2019).



Слика 4.3. Ријека Грнчар (аутор: Данијела Величковић, 12. 9. 2022. године)

Ријека Врује представља једну од изворишних саставница Луче. Њена дужина износи 11,5 km. Извире са највиших врхова Проклетија (Каранфила, Романа, Војуше, Тројана, Застана). Преко Бјеличког потока, десне притоке, одводњава Бјелич и западне падине Бора. Ријека Врује има површину слива од 170 km^2. Њена притока је Доља са Бистричицом узводно од Гусиња. Густина ријечне мреже износи 0,17 km/km^2, што сврстава анализирани слив у хидрографски најслабије развијене сливове Горњег Полимља. Количине вода Врује су велике. Одређене методом водног билансирања, тј. разликом протицаја Луче (21 m^3/s) и суме протицаја Грнчара (6 m^3/s), непосредног слива Луче – од Гусиња до Плавског језера (1,8 m^3/s), а који износи 13,2 m^3/s. Специфични отицај износи 77,6 $l/s/km^2$ (Ocokoljić, 1994). У документу Водопривредна основа Републике Црне Горе (1990), у оквиру варијанте енергетског коришћења ријеке Лим (Варијанта 2), под редним бројем 13 у табеларном приказу притока Лима наводи се локалитет Грља (Грнчар) као потенцијал за изградњу хидроенергетског објекта типа прибранске акумулације. Према планским параметрима, предвиђена је деривација дужине 7,5 km, са референтним протоком у профилу од 17 m^3/s. Хидраулички параметри обухватају бруто пад (Hb) од 88 m и нето пад (Hn) од 13 m, уз пројектовану инсталисану снагу од 49,1 MW и процијењену годишњу производњу од 92 GWh. Специфични модул отицања за слив ријеке Врује износи приближно 16 $l/s/km^2$, што је три пута мање од вриједности која важи за слив Гусиња као цјелине (56 $l/s/km^2$), и то је у складу са: ниском густином ријечне мреже (≈ 0,17 km/km^2), високим инфилтрационим потенцијалом (крашки терен), доминацијом подземног отицања у укупном водном билансу. Пад рјечног корита је од 1 до 3 m/km. Због разноврсности геонаслеђа, хидролошких феномена и маркираних планинарских стаза, уз Гребају је најпосјећенија долина у Горњем Полимљу. Слика 4.4. приказује састав ријека Врује и Грнчара, гдје се воде спајају у један ток, са видљивим обалама и околним зеленим приобаљем.



Слика 4.4. Састав Врује и Грнчара (аутор: Данијела Величковић, 12. 9. 2022. године)

Ријека Доња настаје од Црне Доље и Бистричице. Са Црном Дољом има дужину од 9 km. Доља тече долином Гребаје. Она одводњава Каранфиле, Застан, а преко Бистричице, планине Попадију и Волушницу. Чини је више крашких врела, а улива се у Врују, јужно од Гусиња. Извире на источним падинама Везировог брда.

На кратком току има просјечан пад од 28 m/km који савлађује низом слапова и једним водопадом на локалитету Шкала. Због бујичног карактера, угрожава село Дољу. Због присуства крашких формација на ободу долине, слив ријеке Доље карактерише ниска густина ријечне мреже, која износи око 0,35 km/km², што указује на ограничену површинску дренажу и доминацију подземног отицања. Изворишне области Доље налазе се испод високих и стјеновитих гребена Проклетија. Преко главног тока и притока, Доља одводњава: Гребају (глацијална долина), просторе Попадије и Застана, преко Бистрице (притоке) захвата масив Каранфила и висове изнад 2400 m. Слив се одликује високим релативним висинама и великим падовима, што условљава изразито брзотекући карактер водотока**.**

Ријека Скакавица представља кратак, али хидролошки изузетно значајан водоток који извире из карстног извора Око Скакавице, познатог и под именом Савино Око. Формира водопод на 2 km од извора висине од 15 до 20 метара (Joksimović, 2016). Вода се слива у понор, а онда пролази кроз узан кањон настављајући као ријека Грља (Слика 4.5.) пут Алипашиних извора. Налази се у непосредној близини насеља Вусање, на територији општине Плав, у подножју масива Проклетија. Иако дужински ограничена, Скакавица има важну улогу у регулацији хидролошког режима ширег подручја и утиче на динамику подземних и површинских вода (Ćalić, 2011). Извориште ријеке представља перенијални карстни извор, морфолошки дефинисан у облику готово правилне кружне вртаче (Milošević, Dujmović 2011). Хидроморфолошке карактеристике извора укључују просјечну ширину од око 25 метара и дужину приближно 30 метара, док максимална дубина достиже до 6 метара. Извор се одликује стабилним температурним режимом, при чему температура воде током цијеле године варира у уском интервалу од 4 до 5°C, што указује на дубоко подземно поријекло и константну циркулацију воде. Квалитативне особине воде изузетно су повољне, забиљежен је висок степен провидности и чистоће, а дно извора остаје видљиво чак и током хладних зимских мјесеци, што потврђује минималан унос суспендованих честица и органског материјала. Геолошка подлога подручја чини се углавном од тријаских и кредних карбонатних стијена, са наглашеним присуством доломита и лапорца (Ćalić, 2011). Ове формације карактерише изразита пукотинска и канална порозност, што омогућава развој интензивне инфилтрације и формирање комплексног система подземне циркулације. Поред тога, присуство површинских

клизишта, евидентних у контакту између карбонатних и флишних серија, указује на повећану ерозиону нестабилност (Petrović, Dragović, 2010)

Хидролошки режим Скакавице је карактеристичан за планинске бујичне водотоке са високим коефицијентом варијабилности протока. У периоду пролећног отапања снијега и током интензивних падавина долази до наглог повећања водостаја, што значајно утиче на ерозивни капацитет ријеке (Marković, 1970). У сушном периоду проток се значајно смањује, али извор остаје активан, што додатно потврђује његов перенијални карактер (Milošević, Dujmović, 2015). Овакав хидролошко-геоморфолошки контекст чини ријеку Скакавицу значајним природним ресурсом који захтијева адекватне мјере заштите, посебно у контексту све интензивнијих ерозивних процеса и климатских промјена.



Слика 4.5. Ријека Грља код водопада Грља (аутор: Данијела Величковић, 12. 9. 2022. године)

Бијели поток представља лијеву притоку ријеке Лим и убраја се међу најизразитије бујичне водотоке у његовом сливу. Сливна површина обухвата 4 km² (Stanković, 1968) и укључује подручја насеља Брезојевице и Надград, чиме заузима значајну позицију у локалном хидролошком систему. Изворište Бијелог потока налази се у највишем дијелу планинског масива Виситор, што га чини типичним представником планинских бујичних сливова у сјевероисточној Црној Гори. На основу просторног положаја, водоток је смјештен у сјевероисточном дијелу Црне Горе (Слика 4.6). Бијели поток се улива у ријеку Лим на релативно краткој удаљености од 0,5 km низводно од извора ријеке Лим који потиче из

Плавског језера. Географски је позициониран 10 km јужно од Шекулара, у близини насеља Спалевићи, 18 km југоисточно од Андријевице**,** и 7 km од Мурина, што потврђује његову повезаност са ширим сливом Горњег Лима (Spalević, 2017). Природна дужина главног водотока износи 3,3 km, што је карактеристично за бујичне токове мањег обима, али високог енергетског капацитета (Stanković, 1968). Геолошка грађа слива састоји се од трошних тријаских шкриљаца, пјешчара и лапора, што условљава високу ерозивност под утицајем површинског отицања и таложења. Услови као што су отапање снијега и интензивне падавине олакшавају покретање еродованог материјала, који се затим депонује у корито ријеке Лим, уз тенденцију његовог затрпавања или чак привременог преграђивања. Ушће ове притоке подложно је честим помјерањима унутар корита ријеке Лим, при чему се алувијални материјал брзо таложи, што утиче на морфолошку стабилност и хидродинамику главног тока. Узводно од ушћа Бијелог потока, корито ријеке Лим показује значајан степен сужавања, при чему минимална ширина износи мање од 20 метара. Такав морфолошки профил утиче на хидрауличку пропусну способност током периода високих водостаја, када долази до недовољног капацитета за пријем повећаних количина воде. Као посљедица, у овом сегменту ријеке јавља се локализовано успоравање тока и повишење водостаја. С обзиром на то да Бијели поток није предмет регулисаних хидротехничких интервенција, тренутно стање на терену остаје непромијењено и хидролошки нестабилно (Spalević, 2017).



Слика 4.6. Бијели поток (аутор: Данијела Величковић, 12. 9. 2022. године)

Ријека Лим представља најзначајнији водоток у подручју Проклетија и истовремено је највећа ријека овог планинског масива. Извире као отока Плавског језера и улива се у ријеку Дрину у близини насеља Рудо. Укупна површина сливног подручја износи 5.717 km², са просјечним годишњим падавинама од 1.155 mm. Средњи протицај на ушћу износи 108 m³/s, док је специфична издашност слива 18,9 l/s/km², уз коефицијент отицања од 0,515, што указује на релативно висок хидролошки потенцијал (Stanković, 1994).

Табела 4.1. Основне физичко-географске карактеристике ријеке Лим у горњем Полимљу (извор: аутор)

Параметар	Ријека Лим
Дужина главног тока (L) [km]	89,70
Најкраћа дужина (Lmin) [km]	69
Коефицијент вијугавости (K)	1,4
Надморска висина извора (h_1) [mnm]	908,56
Надморска висина ушћа (h_2) [mnm]	544,48
Висинска разлика (ΔH) [m]	363,68
Уздужни нагиб корита (J) [m/km]	54,05
Апсолутни нагиб корита (Ia) [%]	0,41
Површина слива (A) [km²]	2364.14
Густина хидрографске мреже (G) [km/km²]	0,5
Средњи нагиб терена (Isr) [°]	15,32
Средњи нагиб терена (Isr) [%]	28,08
Средња надморска висина (Hsr) [mnm]	1.222,27
Обим слива (km)	508,80

Основна дужина тока ријеке Лим износи 197 km, међутим, уколико се у рачунање укључе Луча и ријека Грнчар као хидролошке саставнице, укупна дужина достиже 225 km, односно 233 km ако се узме у обзир и лијева саставница Грнчара – ријека Скроботуша, дуга 8 km. Укупан пад ријеке износи 265 m, што даје просјечни пад од 6 m/km на дужини од 57 km, колико износи разматрани простор у горњем току (Stanković, 1994).

Хидролошке карактеристике ријеке разматрају се на хидролошким станицама у Плаву и Беранама. На овим профилима максимални средњи мјесечни водостаји износе 106 cm у Плаву и 184 cm у Беранама. Током мјесеца септембра забиљежени су минимални средњи мјесечни водостаји од 48 cm у Плаву и 89 cm у Беранама. Средња годишња амплитуда водостаја износи 58 cm у Плаву и 95 cm у Беранама, док су апсолутне амплитуде значајно изражене: 251 cm у Плаву и 577 cm у Беранама. Ове вриједности указују на изражен бујични режим Лима, са великим варијацијама у протицајима током године. Средњи годишњи протицај ријеке код Плава износи 40,6 m³/s, а код Берана 37,4 m³/s. Температура воде, као хидролошки параметар,

просјечно износи 8,1 °C у Плаву и 8,4 °C у Беранама, што указује на умјерено хладне услове типичне за планинске ријечне системе (Rajović, 2010).

У профилу Плав, гдје је смјештена хидролошка станица (на мосту на путу Мурино–Плав), сливна површина износи 363,6 km², дужина тока на овом дијелу је 0,2 km, а кота нуле на водомјерној летви постављена је на надморској висини од 906,58 m.

Посебну пажњу у интерпретацији слива потребно је посветити карстним карактеристикама терена. На подручју Плавско-гусињске котлине, а посебно дуж црногорско-албанске границе, доминирају крашки облици рељефа који утичу на неједнако и дифузно отицање. Стога, номиналне површине слива често одступају од стварних хидролошких граница.

Према истраживањима Станковића (1994), регресивна и вертикална ерозија ријеке Лим активно утиче на смањење површине и запремине Плавског језера, што додатно указује на потребу за континуираним мониторингом геоморфолошких и хидролошких процеса у овом региону (Stanković, 1994).

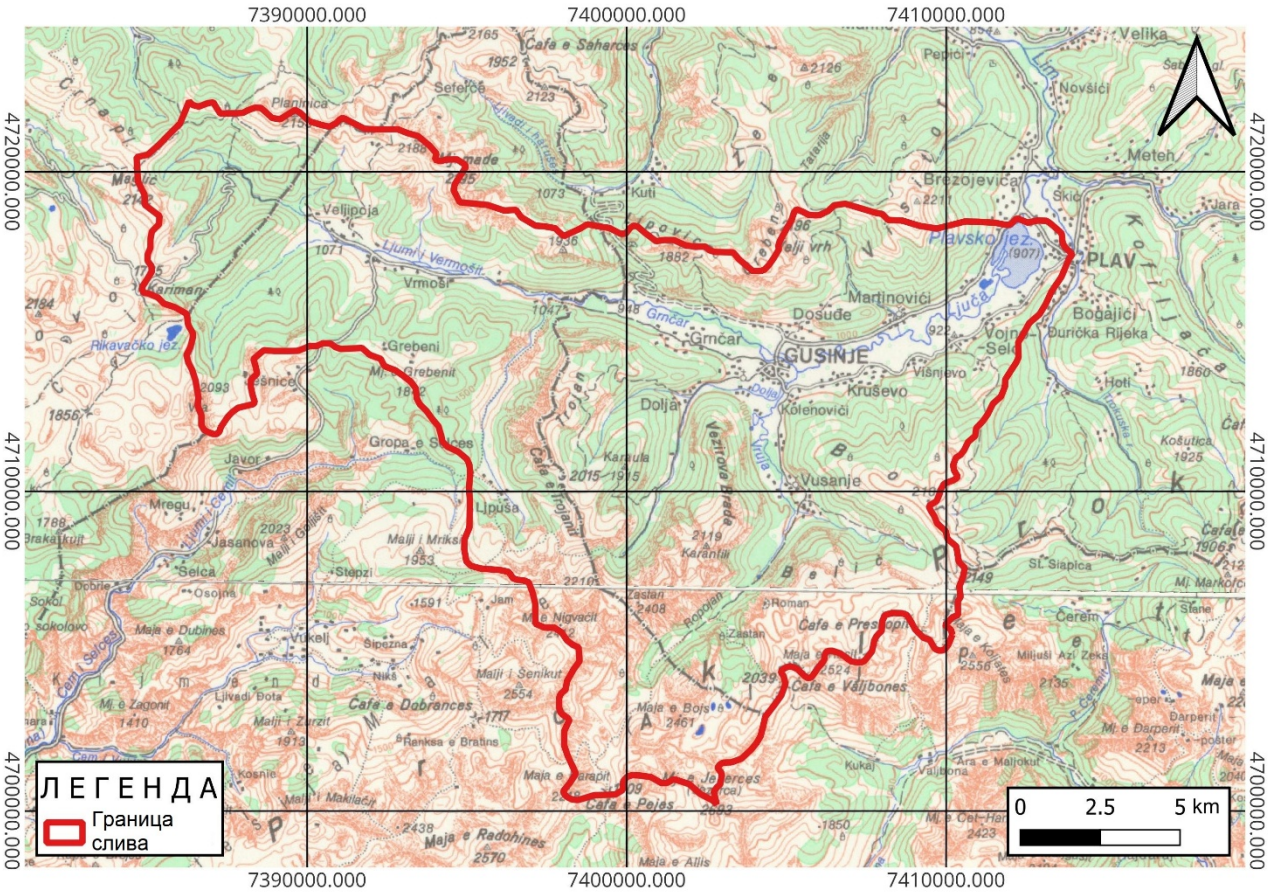
Према Уредби о класификацији и категоризацији вода (Службени лист Црне Горе, бр.2/07) воде у сливу Лима припадају двијема категоријама: 1. у класу A1SK1 спадају Лим и све његове притоке узводно од Берана, Грнчар и Ључа, 2. у класу A2CK2 спада Лим низводно од Берана. Промјене у квалитету воде се разликују на сезонском и годишњем нивоу. Микробиолошки показатељи, садржај бактерија и нутритијенти који смањују квалитет воде за пиће, повећавају се за вријеме ниских водостаја и карактеристични су за зоне око Плава и Берана. И поред тога, сви водотоци до Берана спадају у групу олигосапробних (I класа) (ХМЗ ЦГ, Годишњаци 2006-2009). У Табели 4.2. дате су основне физичко-географске карактеристике Луче, Грнчара, Врује, Бијелог потока.

Табела 4.2. Основне физичко-географске карактеристике Луче, Грнчара, Врује, Бијелог потока

Параметар	Луча	Грнчар	Врује	Бијели поток
Површина слива (A) [km²]	302,68	139,45	115,95	4,0
Обим слива (O) [km]	74,25	76,82	52,83	9,13
Кота вододјелнице (Kv) [mnm]	1.892	2.134	2.615	2.211
Најнижа тачка на сливу (Ku) [mnm]	907,2	918,0	916,0	890,0
Дужина слива по главном току (L) [km]	36,25	21,57	14,97	7,90
Апсолутни нагиб корита (Ia) [%]	2,72	1,28	4,00	1,52
Средњи нагиб терена (Isr) [%]	36,9	62,11	71,77	46,08
Средња надморска висина слива (Hsr) [mnm]	1.510	1.490	1.646	459
Густина хидрографске мреже (G) [km/km²]	2,6	1,6	1,2	2,72

4.1. Географске и морфометријске карактеристике слива

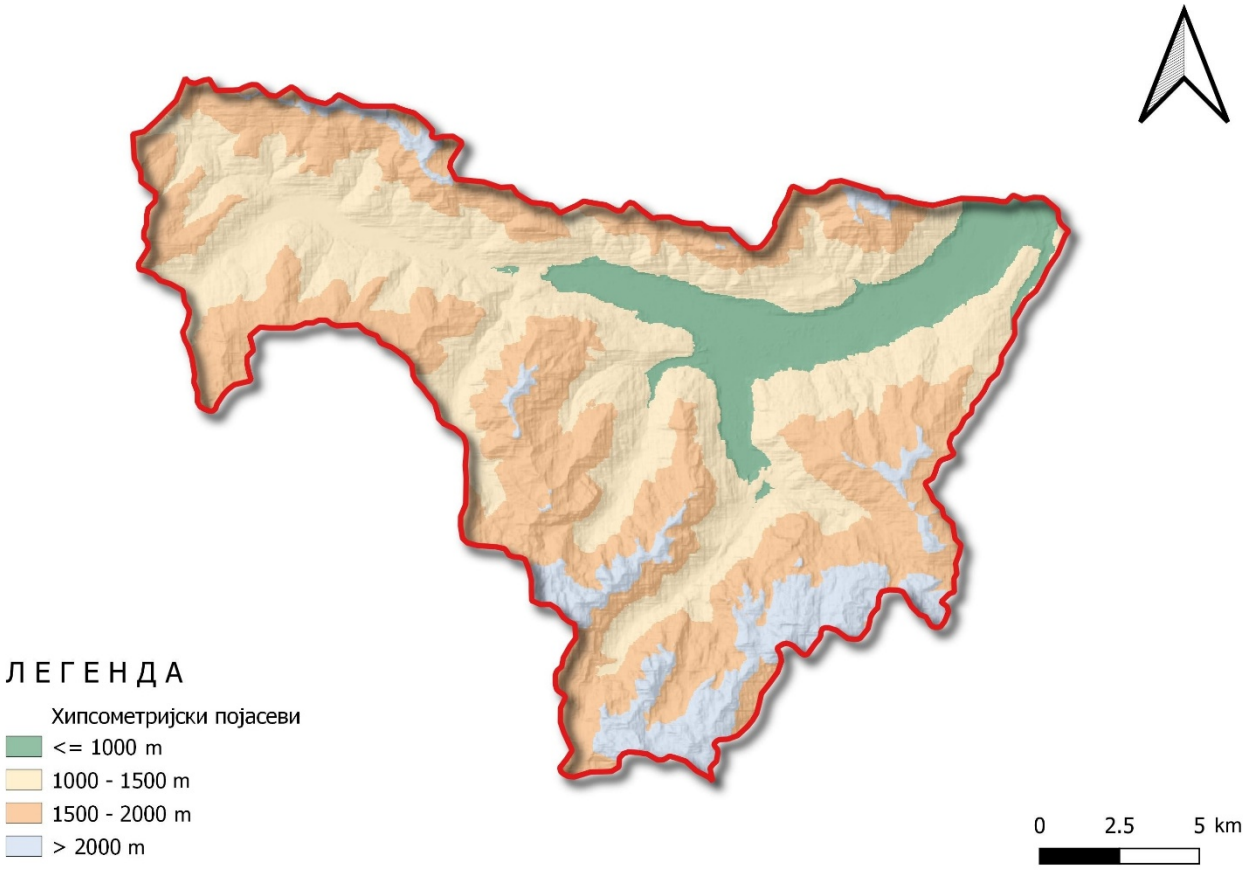
На планинама Црне Горе ледници плеистоцене глацијације оставили су бројне трагове свог постојања. Поред геоморфолошкох облика (циркова, валова и морена) срећу се и хидрографски објекти од којих је највећи Плавско језеро. Налази се у сјевероисточном дијелу Црне Горе, недалеко од границе према Албанији. Лежи на 906,67 m надморске висине, на мјесту гдје се долина Луче наставља у долину Лима. Географске координате централног дијела језера су 19°35'45" ИГД и 42°35'45"СГШ (Слика 4.7).



Слика 4.7. Географски положај слива Плавског језера (извор: аутор)

Плавско језеро је ледничког поријекла. Настало је акумулацијом воде у преиздубљеном дијелу Плавско-Гусињског валова, који је на простору од Плава до села Новишића заграђен низовима лучних чеоних и бочних морена, те представља терминални басен (Stanković, 1975). Поред ледничке ерозије, акумулација моренског материјала имала је значајнију улогу у формирању Плавског језера. Први низ чине чеоне морене Плава и Рудопоља, а други морене Коловрата и Малог скиђа, које се спајају са моренама ледника који се спуштао валовом Комараче. Моренски бедем издиже се 50–80 m изнад површине језера и просјечен је ријеком Лим.

На Слици 4.8. приказана је хипсометријска карта слива Плавског језера, која илуструје просторну расподјелу рељефних висина и јасно истиче висинске односе и морфолошку разноврсност терена у оквиру сливног подручја.

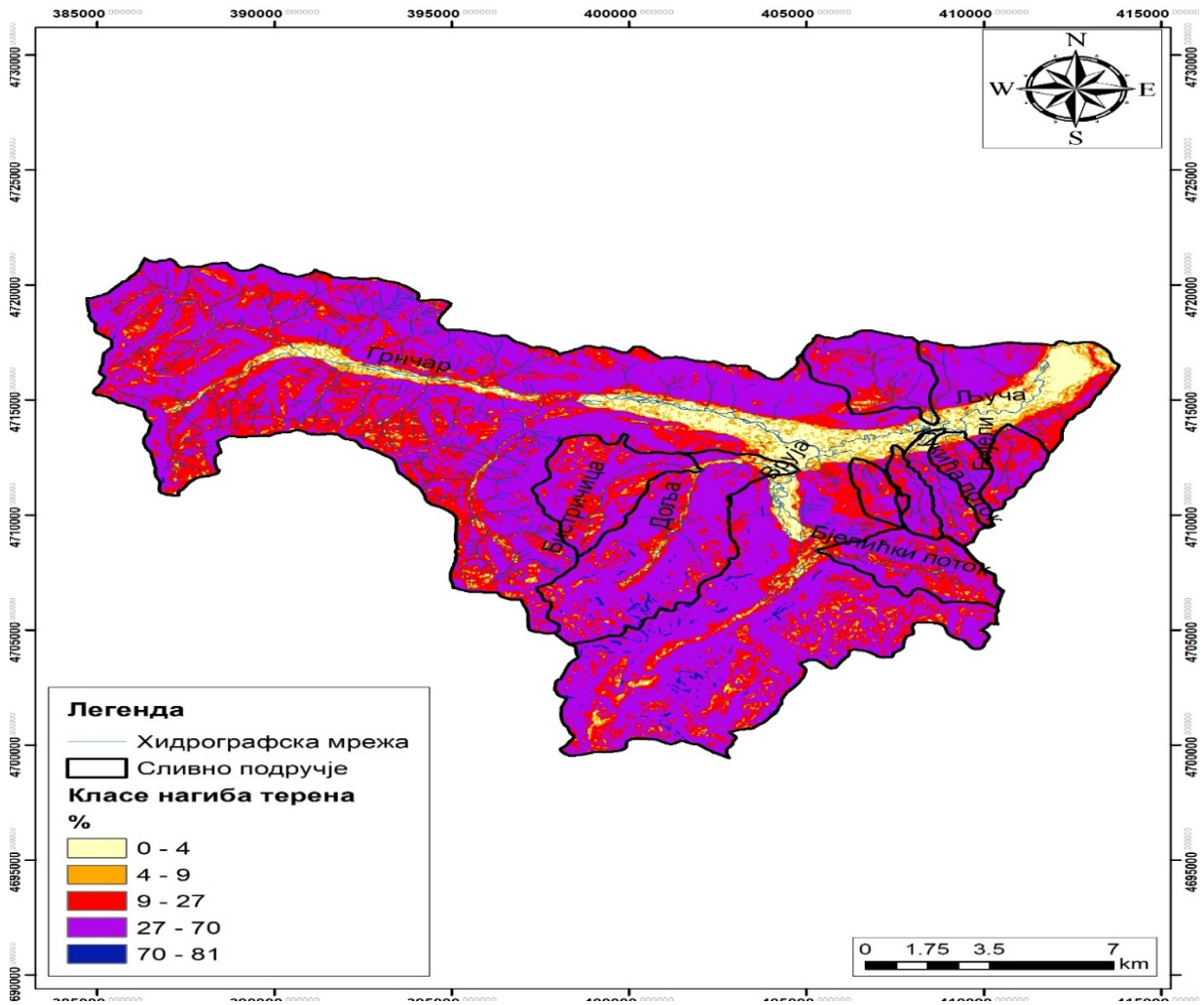


Слика 4.8. Хипсометријска карта слива (извор: аутор)

Нагиби рељефа у сливу Плавског језера приказани су на карти нагиба (Слика 4.9), док су њихове квантитативне вриједности представљене у Табели 4.3.

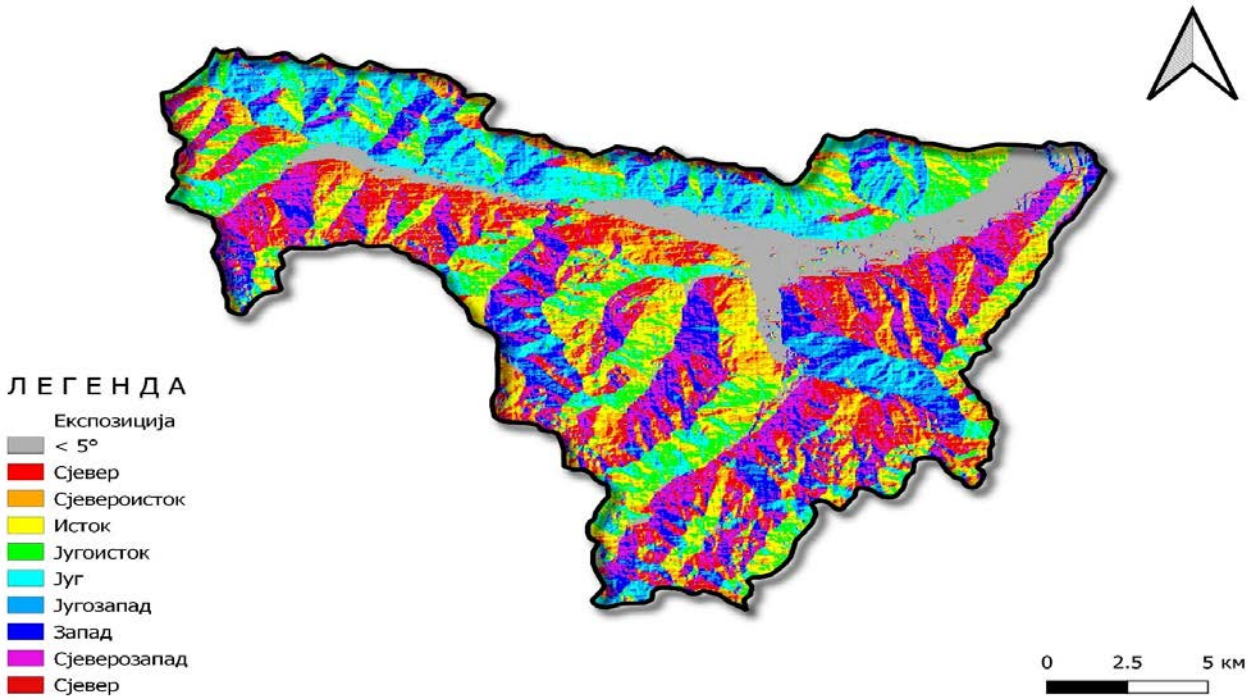
Табела 4.3. Заступљеност површина по класама нагиба рељефа у сливу Плавског језера

Класа нагиба (%)	km²	%
0–4	22,94	7,16
4–9	19,18	5,99
9–27	96,42	30,09
27–70	177,91	55,51
70–81	4,04	1,26
Укупно	320,48	100,00



Слика 4.9. Карта нагиба рељефа слива Плавског језера (извор: аутор)

Карта експозиције рељефа слива Плавског језера (Слика 4.10) јасно приказује распоред експозиција падина унутар сливног подручја, што омогућава боље разумијевање морфолошких и хидролошких карактеристика терена. Различите боје на карти означавају положаје падина у односу на стране свијета, што је значајно за анализу ерозионих процеса, кретања подземних и површинских вода, као и за планирање мјера заштите простора.



Слика 4.10. Карта експозиције рељефа слива Плавског језера (извор: аутор)

Плавско језеро је формирано крајем Вирмске глацијације, прије око 24.000 година, када је дошло до отопљавања климе и повлачења ледника. Том приликом ледници су оставили за собом велике количине моренског материјала, што је допринијело формирању природне акумулације у Плавско-Гусињском басену (Stanković, 1968). Плавско језеро у свом данашњем облику представља остатак некадашњег много већег и дубљег ледничког језера. Током Вирмске глацијације ледени покривач на Проклетијама захватао је веома велику површину, око 250 km² (Институт Јарослав Черни, 2017). Језерски басен нема пространо и заравњено дно, односно централну језерску раван. Ако изобату од 9 m узмемо за изобату дна, испод које се дубине незнатно повећавају, површина централног језерског дна износи 86.000 m². Плавско језеро има облик елипсе издужене у правцу сјевер–југ, дужина језера је 2.160 m, а максимална ширина 1.490 m (Слика 4.11). Обала је слабо разуђена и нестабилна због осцилација нивоа воде. Југоисточни, сјевероисточни и источни дио обалске линије су праволинијски или благо повијени, док је највећа разуђеност у југозападном дијелу. Укупна дужина обалске линије при средњем годишњем водостају је 7.520 m (Stanković, 1975). Површина Плавског језера је 1,9 km² и мијења се у зависности од водостаја. Непосредни слив заузима око 4 km² и обухвата приобалну зону у којој се одвија директно дотицање вода у језеро. Цјелокупни слив површине око 288 km² представља сложену хидролошку јединицу трансграничног карактера, јер значајан дио хидрографске мреже припада територији Републике Албаније. Површина слива је 144,7 пута већа од површине језера (Stanković, 1975).



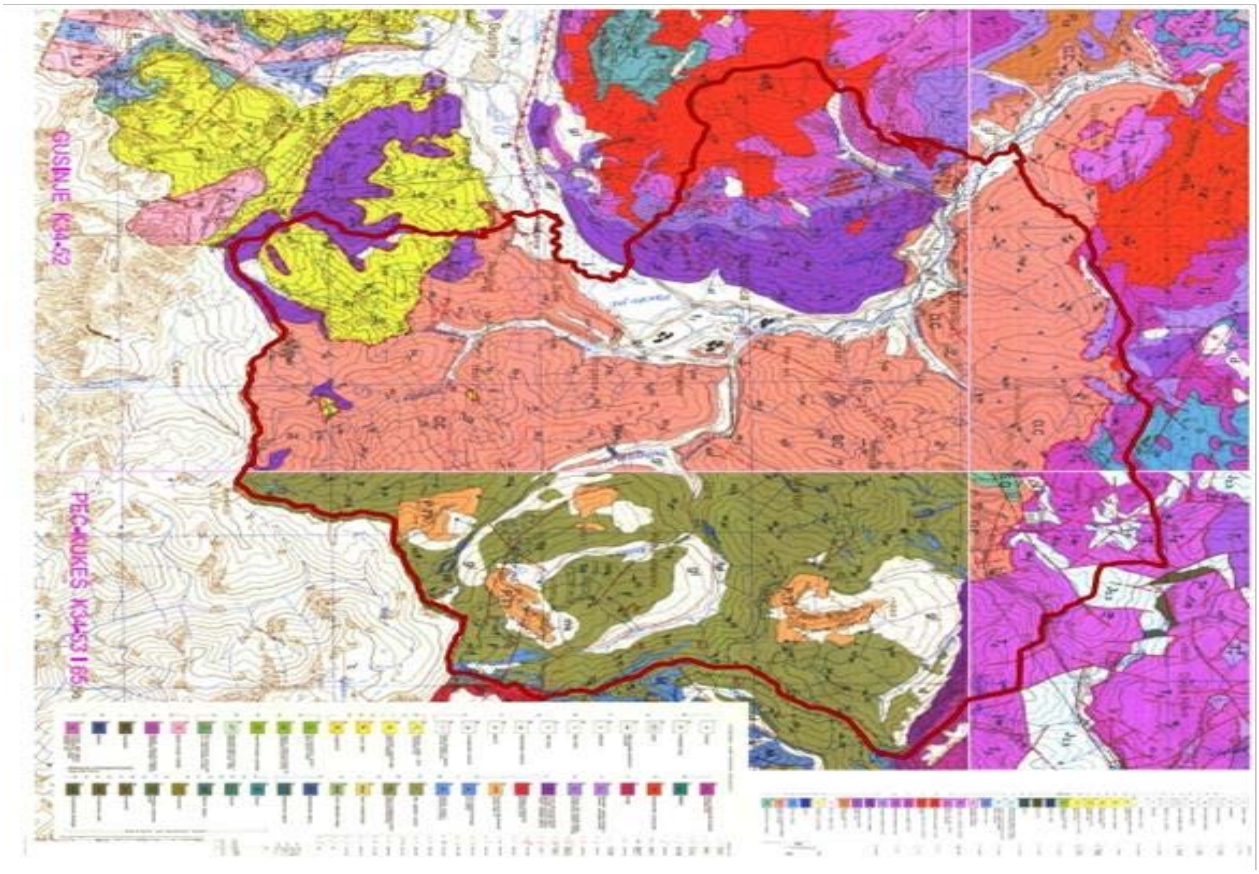
Слика 4.11. Плавско језеро (аутор: Данијела Величковић, 30. 11. 2023. године)

Средња дубина износи 3,86 m, а укупна запремина воде 7.691.380 m³. Запремина и површина се смањују са дубином јер је језерски базен једноставне конфигурације, највећа површина и запремина су у слоју 0–1 m дубине, док је најмања испод изобате од 9 m. Површина дна језера износи 2,024 km², док је просјечан пад страна језерског басена 10°30′ (Stanković, 1968). Највећи нагиби страна језерског басена су у зони делтастог ушћа ријеке Луче, а већи нагиби терена јављају се у западном дијелу језера. Површина дна Плавског језера, која по свом облику подсјећа на унутрашњост карлице, нешто је већа од површине водене површине (акваторије) и износи око 2.024.415 m² (2,024 km²).

4.2. Геолошке карактеристике

Подручје Плава и Гусиња изграђено је од наслага различите старости, које припадају палеозоику, тријасу, јури, креди и квартару (Bešić 1980). Према основној Геолошкој карти СФРЈ (Црне Горе) Р.1:100 000, лист Гусиње (К34-52) дефинисане су опште геолошке карактеристике простора Плавског језера (Слика 4.12). Заступљени су шкриљци и пјешчари девона и карбона, тријаски кречњаци, дацити и андезити средњег тријаса. Развијени су фливиоглацијални, делувијални, алувијални, глацијални, барски и језерски седименти као најмлађе геолошке творевина овог подручја. У сливном подручју Плавског језера, источно, југоисточно, и јужно присутне су палеозојске стијене које припадају геолошким периодима, девону и карбону. У литолошком погледу чине их шкриљци, пјешчари, кречњаци, кварцни конгломерати, кварцити (шкриљци, пјешчари). Мезозојске стијене припадају геолошким периодима: тријас, јура и креда. Присутни су седименти доњег и средњег тријаса. Сјеверно од Плавског језера на падинама и обронцима Виситора, регистровани су кварцни

конгломерати и пјешчари. Распрострањени су и на лијевој обали Лима у близини Брезојевице са дебљином око 150 метара.



Слика 4.12. Геолошка карта, исјечак из Основне геолошке карте - листа Гусиње (К 34-52) (извор: Извјештај о стратешкој процјени утицаја на животну средину Просторно-урбанистичког плана Општине Плав, 2020)

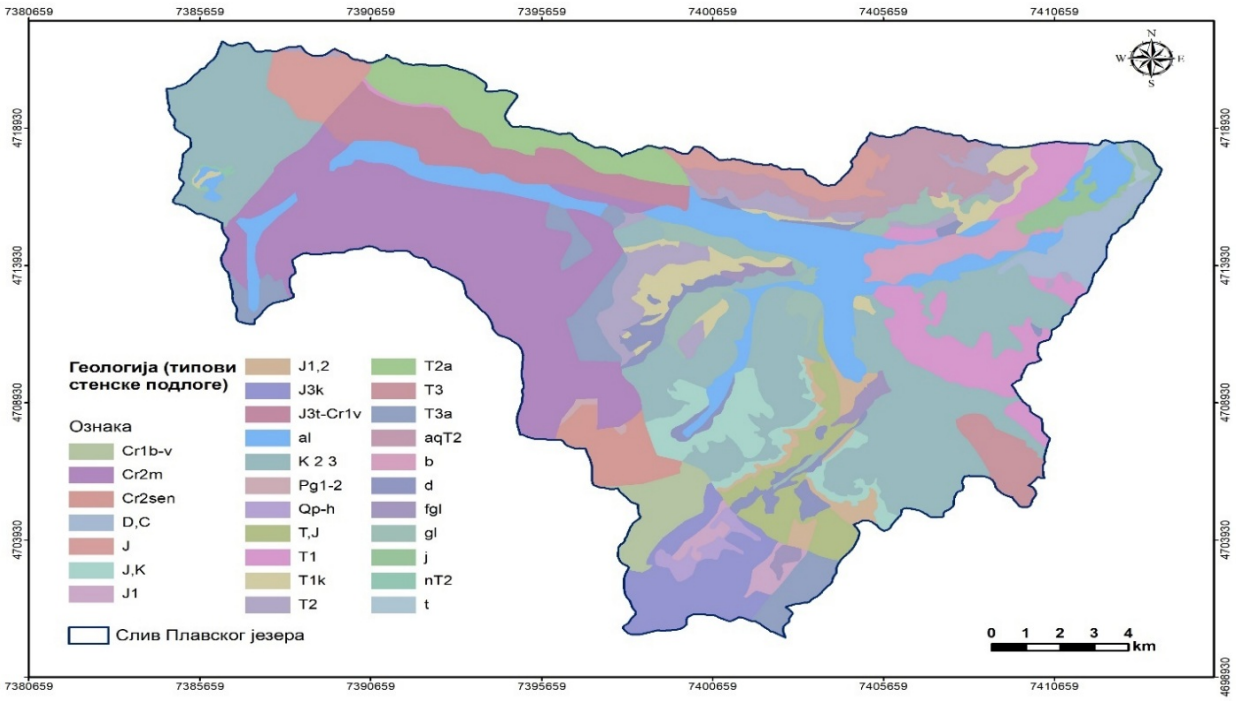
У оквиру масива Виситора, западно од Плава у зонама Будојевица, Кленовића, Крушева присутни су кварцни и кречњачки шкриљци. На источним и југоисточним падинама Виситора забиљежени су фукоидни кречњаци. Фацију чине финозрни кварцни пјешчари, ушкриљени кварцити, сиви шкриљци настали од кварцита и кварцних пјешчара и ушкриљени кречњаци. Дебљина ове серије је око 250 метара. Стијенама доњег тријаса припадају и масивни, црни, ријетко банковити кречњаци, прекристалисани. Више дијелове Виситора чине средњетријаски седименти чије су доње формације представљене слојевитим кречњацима са мањим садржајем сивих, зелених, црвених рожнаца. Контак кречњака и вулканских стијена узроковао је да су кречњаци подложни метаморфизацији у области Виситора. Дакле, кречњачке наслаге су у овом дијелу депоноване преко вулканских стијена доњег тријаса такозваних вулканита. Дебљина им се процјењује на око 400 метара. Стијене вулканског поријекла средњетријаске старости су присутне на простору централног и јужног дијела

Виситора. Петрографски састав чине дацити, андезити са туфовима и вулканске бреће. Јужне обронке Виситора, изнад Гусиња и лијеве обале Грнчарске ријеке чине јурски седименти. У том дијелу су рожнаци, лапоровити шкриљци. На десној долинској страни (простор Крушева и Вишњева) ријеке Луче заступљени су седименти кредне старости. Такође су присутни и на низводним дијеловима водотока Доље и Врује. Имају карактер метаморфисаног сублифлиша у оквиру Кучке јединице, гдје су извдвојени слојеви лапоровитог кречњака, гвожђевитих и лапоровитих пјешчара, лискуновитих лапораца, кречњачка бреча, микробреча, глинице. У периоду старијег квартара евидентиране су значајне промјене стијена палеозоика и мезозоика, као посљедица геоморфолошких процеса током вирмске глацијације када су били просутни ледници на овом простору. Као резултат интезивних процеса глацијације на овом простору формирани су бројни циркови, валови, морене, језера. Као акумулациони облици са обе долинске стране површинских токова ријеке Грнчар, Бистрице, Луче, зони Плава и Гусиња присутне су морене. Бочне морене су заступљене између Војног села и Плава, а највећа чеона морена је лоцирана у изворишној зони Лима и имала је функцију бране у Плавском језеру.

Ријека Луча слиједи правац подледничке ријеке повученог ледника, а према литолошком и механичком саставу присутан је висок степен хетерогености. Морене овог простора чине пијесак, шљунак, муљ, пјесковите глине, са дијеловима кречњака, пјешчара, вулканита. Пошто се материјал који доносе подледичке ријеке транспортује у воденој средини он је углавном заобљеног облика. Током љетњег периода подледничке ријеке имају већу конетичку енергију што узрокује одношење шљунка, свих гранулација. Насупрот томе зими се у терминалном басену одлаже доминатно моренски ситнији материјал, финозрни до крупнозрни пијесак. Ова појава се може објаснити температурним промјенама наглим и краткротрајним отапањима током зиме.

Алтерисани и детритични материјал је депонован током два периода плеистоцена, старијег и интензивнијег (риса) и млађег (вирма). Морене старије глацијације су разорене и однијете и као такве су основа за формирање глациофлувијалних тераса. Ријека Лим која истиче из Плаваског језера акумулира велику количину глациофлувијалног наноса. Накнадним усијецањем је формирана Лимска тераса декаметарске висине и хектометарске релативне ширине и дужине. Из језера истиче ријека Лим, која је акумулирала велику количину глациофлувијалног материјала. Продукти глацијалног и флувиоглацијалног процеса још увијек егзистирају у долинама повремених и сталних токова на Проклетијама (Трескавица, Виситор). У долинама Луче, Грнчара, Врује и Ђуричке ријеке присутни су холоценски квартарни седименти представњени језерским, алувијалним и барским наслагама. Алувијални нанос је највише заступљен дуж ријека Лим и Грнчар. У долини ријеке Луче присутни су

барски и језерски седименти. Простор долине ријеке Грнчар узводно од Гусиња припада Дурмиторској геотектонској јединици на сјеверу, а Кучкој у јужном дијелу. Геолошка грађа сјеверног дијела садржи доњотријаске конгломерате, пјешчаре, шкриљце, кречњаке, вулканите и јурске стијене офолитског меланжа. У грађи квартарних седимената учествује и колувијални нанос. Алувијални материјал ријеке Грнчар се експлоатише као грађевински материјал захваљујући величини кластита, количини и доступности. У јужном дијелу присутни су тријаски, јурски и кредни кречњаци, доломитски кречњаци и доломити, али и седименти Дурмиторског флиша са пјешчарима, шкрљцима, лапорцима, глинама, кречњацима, бречама. Алувијалне наслаге у кориту ријеке Грнчар изграђене су од шљунка, пијеска, муља и пјесковитих глина. Шљункови представљају седименте различите гранулације, састављене од заобљених фрагмената стијена, најчешће карбоната, пјешчара, вулканита и шкриљаца. На високим падинама Проклетија присутни су делувијални седименти. Као доминатни облици истичу се заобљени пијесак, шљунак, фргаменти алтерисаних стијена. Плиће зоне чине прашинасте и глиновите фракције. На основу садржаја и легенде пратећег Тумача геолошке карте идентификован је значајан број картираних јединица које се разликују према свом стратиграфском положају и фацијалном саставу (Слика 4.12). На Слици 4.13. приказани су типови стијенске подлоге за слив Плавског језера.



Слика 4.13. Типови стијенске подлоге (извор: аутор)

Легенда

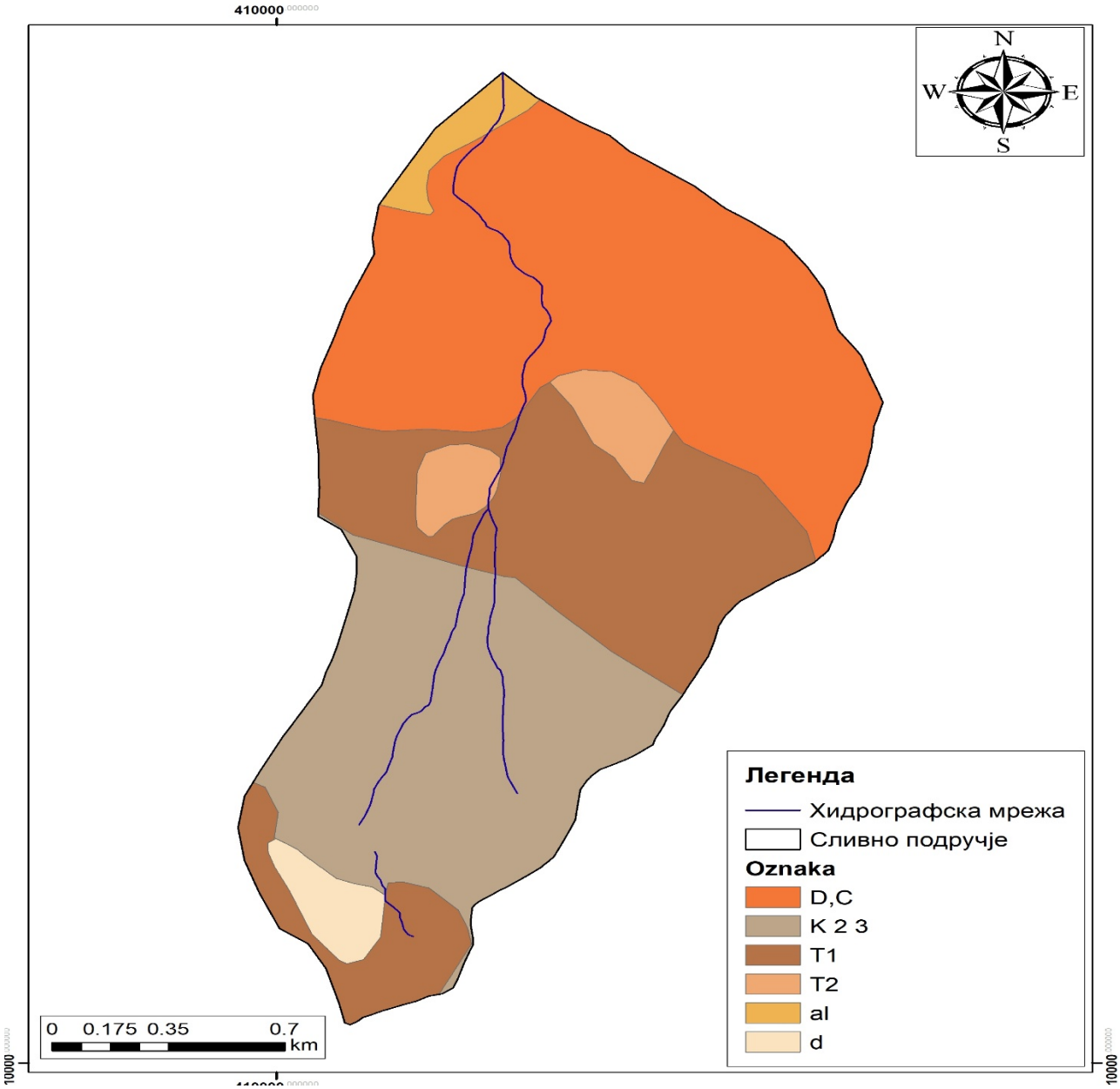
Бр.	Ознака	Код (енг.)	Опис (ћирилица)
1	d	d	Делувијум: кречњачки дробински материјал
2	al	al	Алувијум: шљунак, пијесак и глине
3	b	b	Органогено-барски седименти
4	gl	gl	Морене
5	fgl	fgl	Глациофлувијални седименти
6	j	j	Језерски и барски седименти
8	t	t	Виша тераса
10	K2-3	K2-3	Дурмиторски флиш: пјешчари, шкриљци, лапорци и глинци – сенон
14	J,K	J,K	Стратификовани и масивни сиви кречњаци титон-валенда
17	J1-2	J1-2	Органогени грумуљасти црносиви кречњаци лијаса и догера
18	J	J	Кречњаци са ружнацима, лапоровити шкриљци, шкриљави лапорци и дијабази
20	T,J	T,J	Банковити доломитни кречњаци и доломити ретолијаса
21	T3	T3	Доломитни кречњаци, доломити и кречњаци
23	nT2	nT2	Кварцкератофири, кератофири и њихови туфови
24	aqT2	aqT2	Дацити, андезити и њихови туфови
26	T2	T2	Сиви мермерисани и ушкриљени кречњаци, мјестимично са ружнацима
27	T1k	T1k	Тамномодри фукоидни кречњаци
28	T1	T1	Кварцни и кречњачки шкриљци
32	D,C	D,C	Шкриљци и пјешчари са сочивима конгломерата и кварцита
33	T3a	T3a	Доломити и доломитски кречњак на јонском подручју; кречњаци и силикати у подзони Цукали; кречњаци са мегалодонтима, доломитима у зони Албанских Алпа
35	Cr2m	Cr2m	Флисоидне комбинације глине и кречњака
36	J3t-Cr1v	J3t-Cr1v	Конгломерати, лапор, пјешчар, конгломератне интеркалације
37	T1a	T1a	Кречњаци, глинени шкриљци, пјешчар, кречњак, конгломерати
38	T2a	T2a	Кречњак (а), вулканит и радиоларит (б) у подзони Цукали; силикати кречњак; радиоларит са туфовима на подручју Мирдита
39	Pg1-2	Pg1-2	Црвени лапорци и флисни-лапор алеуролити у областима Мирдита и албанских Алпа; флисни алеуролити у подзони Краста
40	Cr1b-ap	Cr1b-ap	Лапоровити кречњак и кречњак са S. dinarica харафите
41	Cr2sen	Cr2sen	Кречњаци, конгломерати кречњака
42	J3k	J3k	Кречњак са хидрозоа, коралима и алгама; кречњаци на силикатној подлози
43	J1	J1	Доломитизовани кречњаци, кречњаци са литијумима (зона Албанских Алпа); кречњаци са силикатним стијенама; доломитски кречњаци; алгни кречњаци; шкриљци са лапорцима; црвени кречњаци са амонитима (Ammonitico Rosso) у јонској зони
44	Qp-h	Qp-h	Мијешани алувијално-пролувијални седименти: пјескови, грбови, силови
45	Cr1b-v	Cr1b-v	Кречњаци, кречњаци са S. annulata, доломити

Табела 4.4. Заступљеност обједињених литолошких комплекса у сливу Плавског језера

Комплекс	Површина (km²)	Удио у укупној површини слива %
Карбонатни (карст)	138,44	44,4
Квартарни седименти	120,06	38,5
Флишни	27,14	8.7
Магматско-метаморфни	25,80	8,3
Укупно	311,4	100

Табела 4.5. Заступљеност обједињених литолошких комплекса у сливу Бијелог потока

Обједињени литолошки комплекс	km²	%
Карбонатни (карст) – T1, T2	1,20	29,46
Кластични/флишни – K2-3, D, C	2,71	66,61
Квартарни седименти – d, al	0,16	3,93
Укупно	4,07	100,00



Слика 4.14. Геолошка карта слива Бијелог потока (извор: аутор)

4.3. Основни климатски и хидролошки показатељи слива

Климатски режим представља основни природни механизам који условљава интензитет ерозије, продукцију наноса и његов транспорт ка ријеци (Wischmeier et al., 1978). Подаци Завода за хидрометеорологију и сеизмологију Црне Горе, приказани у статистичким годишњацима за период 1966–2020. године, показују пораст средњих мјесечних и годишњих температура ваздуха у односу на претходни период у интервалу од 1961–1990.

У периоду 1966–2020. године (климатолошка станица Плав) просјечна температура ваздуха показује тренд пораста, при чему је најхладнији мјесец јануар (око −2 до −3 °C), а најтоплији јул и август (око 19–20 °C), са годишњом амплитудом од приближно 21–22 °C. Просјечна годишња количина падавина износи око 1100–1300 mm, при чему се максимум падавина јавља током јесени и зиме, док су љетњи мјесеци најсушнији. У истом периоду уочава се значајан пораст температуре ваздуха. Просјечна годишња температура повећала се са приближно 7,65 °C у периоду 1966–1975. године на око 9,85 °C у периоду 2011–2020. године, што указује на пораст температуре од око 2,2 °C током анализираног периода. Падавине представљају један од главних покретача ерозије земљишта (Panagos et al., 2015). У периоду 1966–2020. године просјечна годишња количина падавина показује благо повећање. Просјечна годишња количина падавина износила је око 1012,5 mm у периоду 1966–1975. године, док је у периоду 2011–2020. године износила око 1150,4 mm, што указује на повећање од приближно 138 mm током анализираног периода (Veličković, 2021). Слив Плавског језера у просјеку прими 2.019 mm падавина годишње (око 734,1 милион m³ воде), од чега око 65% отиче површинским токовима. Анализа података са метеоролошке станице Плав за период 1966–2020. године показује да слив карактерише изражена варијабилност падавина, са просјечном мјесечном количином од 87,76 mm и екстремним вриједностима које достижу 404 mm. Медијана падавина (72,3 mm) нижа је од аритметичке средине, а позитивна асиметрија расподјеле (skewness=1,239) указује на присуство повремених интензивних падавинских епизода које значајно одступају од типичног режима (Veličković, 2021).

Табела 4.6. Резултати тестова нормалности расподјеле падавина (Kolmogorov–Smirnov и Shapiro–Wilk тест)

Тест	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Kolmogorov-Smirnov	0,112	618	0,000	—	—	—
Shapiro-Wilk	—	—	—	0,909	618	0,000

Вертикални градијент падавина у високим планинским подручјима додатно је изражен због дневног формирања локалних узлазних струја (планинско-долинских вјетрова), које појачавају стварање облака и падавина на вишим дијеловима падина, док силазна струја дуж долинских оса доводи до растварања облака и смањења падавина у долинама (Karger et al., 2014). У ерозином смислу, управо те екстремне падавине имају доминантан утицај на динамику слива. Интензивни пљускови доводе до наглог повећања површинског отицања, раста брзине тока у притокама и појачане ерозионе снаге тока, што резултира дестабилизацијом обала и продубљивањем корита. Као посљедица тога долази до одвајања честица земљишта, њихове мобилизације и транспорта у виду суспендованог и вученог наноса (Kazimierski et al., 2013). Резултати KS и SW теста ($p < 0,001$) показују да падавине не прате нормалну расподјелу, већ да хидролошки систем доминантно реагује на екстремне, краткотрајне падавинске догађаје који генеришу највеће количине ерозионог материјала.

Табела 4.7. Дистрибуција падавина на нивоу укупне варијансе (извор: аутор)

Статистика	Вриједност 1	Вриједност 2
Mean	87,756	26,649
95% CI (donja granica)	82,523	—
95% CI (gornja granica)	92,990	—
5% Trimmed Mean	82,399	—
Median	72,300	—
Variance	4,388,977	—
Std. Deviation	662,494	—
Minimum	0,0	—
Maximum	404,0	—
Range	404,0	—
Interquartile Range	80,0	—
Skewness	1,239	0,098
Kurtosis	1,732	0,196

Дистрибуција падавина (Табела 4.7) показује изражену варијабилност и позитивну асиметрију (skewness=1,239), јер је средња вриједност већа од медијане, што указује на појаву повремених обилних падавина. То значи да хидролошки и ерозиони процеси у сливу нису одређени просјечним падавинама, већ краткотрајним екстремним падавинским догађајима који условљавају појачано површинско отицање и транспорт наноса.

Релативна влажност ваздуха у Плаву показује изражену сезонску варијабилност, са највишим вриједностима током зиме (преко 80%) и најнижим у љетњим мјесецима (око 60%), док већина године има влажност изнад 70%, што указује на претежно влажне климатске услове (Јоксимовић, 2016). У том контексту, ова запажања су у складу са резултатима регионалних истраживања која указују да карте ерозивности падавина представљају поуздан алат за процјену интензитета ерозије и планирање мјера заштите земљишта, посебно у области пољопривреде и просторног планирања (Micić Ponjiger et al., 2023)

На Плавском језеру јављају се вјетром генерисани површински таласи, условљени уздужном оријентацијом језера у правцу сјевер–југ и доминантним вјетровима у котлини. Таласи достижу висину до 25 cm и дужину 1–2 m (Станковић, 1975).

Плавско језеро се одликује ниским температурама воде у већем дијелу године. Оне су посљедица дотицања хладне воде Луче и истицања топлије воде у Лим (Rajović, 2010).

На Слици 4.14. приказана је хипсометријска карта слива Плавског језера, која илуструје просторну расподјелу надморских висина и јасно истиче висинске односе и морфолошку разноврсност терена у оквиру сливног подручја. Мала количина падавина, велико испаравање и мали протицај Луче утичу на појаву минималног водостаја (47 cm) у октобру (Станковић, 1975). Луча уноси у језеро просјечно 20,05 m^3 воде у секунди а годишње 888,354 милиона m^3. У односу на падавине испаравање је мало. Слив се одликује великим површинским отицајем 1319 mm (479,588 милиона m^3). Водостај Плавског језера у периоду 1962-1991. године варирао је, просјечно око 1,5 m годишње (од коте 906,68 m.n.v до 908,44 m.n.v.) (SS-AE[3], 2005). У Табели 4.8. дати су средњи мјесечни водостаји (cm) ријеке Лим на станици Плав за период 1969–1991. године.

[3] SS-AE (2005): Sektorske studije – analize i ekspertize za potrebe prostornog plana republike Crne Gore. Prirodne karakteristike. Republički zavod za urbanizam i projektovanje. Univerzitet Crne Gore, Podgorica.

Табела 4.8. Средњи мјесечни водостаји (cm) – Лим, станица Плав (1969–1991)

Мјесец	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год.	Ампл.
Климатолошка станица Плав	65	66	67	92	106	91	67	52	48	58	69	70	71	58

Извор података: РХМЗ – Хидролошки годишњаци (1969–1991. година)

4.4. Лимно-еколошке карактеристике Плавског језера

Плавско језеро представља највећи лимнолошки објекат ледничког поријекла у некадашњој СР Југославији**.** Оно посједује значајне природне и туристичке потенцијале, иако је туристички недовољно валоризовано. Његова специфичност огледа се у бројним ријетким појавама, као што су ријека Луча, главни водоток који формира јединствену језерску делту (једина рјечна делта у језеру на подручју СР Југославије), прозирност воде, проточност језера, као и појава незалеђених кружних отвора изнад сублакустријских извора (топлуси) током зимског периода (Knežević, 2004).

4.5. Квалитет вода Плавског језера

Квалитет вода Плавског језера анализира се у континуитету у оквиру државног мониторинга. Узорковање се врши на једној стандардној тачки (сплав), а испитују се основни физичко-хемијски и микробиолошки параметри: pH, електрична проводљивост, однос калцијума и магнезијума, суспендоване материје, ХПК, $БПК_5$, амонијак, нитрити, нитрати, фосфати, детерџенти, феноли, тотални органски угљеник, као и колиформне и фекалне бактерије. Класификација квалитета воде спроведи се у складу са Законом о водама, Уредбом о категоризацији и класификацији површинских и подземних вода и Оквирном директивом о водама ЕУ (2000/60/EC), која је пренесена у црногорско законодавство. У периоду 2015–2025. године забиљежене су сљедеће карактеристике: већина испитиваних параметара задржава врло добар или добар статус. Одступања су најчешће евидентирана код фосфата, нитрита, амонијака и детерџената. Највећи проценат параметара ван класе забиљежен је 2017. године (приближно 47%). У цјелини, око 91,7% параметара указује на врло добар статус воде, док 8,3% параметара има добар статус. Ови резултати указују да Плавско језеро задржава висок ниво квалитета воде, уз потребу за континуираним мониторингом и праћењем параметара осјетљивих на антропогени и климатски утицај.

4.6. Биодиверзитет Плавског језера

Подручје Плавског језера и Проклетија карактерише изузетно богат биљни свијет са преко 1700 врста на територији општине Плав (Stešević et al., 2013; Нацрт за ПППН за НП Проклетије, 2018). Доминирају средњеевропски, јужноевропско-планински и аркто-алпијски флорни елементи, уз присуство субмедитеранских врста, што указује на утицај Медитерана. Посебно се истичу ендемичне и реликтне врсте, као и шуме мунике (*Pinus heldreichii*) старе до 1200 година (Lakušić, 1961).



Слика 4.15. Локвањ (*Nymphaea alba*), (аутор: Данијела Величковић, 12. 8. 2025. године)

Ихтиофауна Плавског језера обухвата више трофичних врста: младицу (*Hucho hucho*), блатњачу (*Salmo labrax m. lacustris*), поточну пастрмку (*Salmo trutta*), штуку (*Esox lucius*), клијена (*Squalius cephalus*) и манића (*Lota lota*) (Кнежевић и Киковић, 2004).

Орнитофауна Плавског језера обухвата око 161 врсту птица (Нацрт ПППН за НП Проклетије, 2018). [4]Због географског положаја на миграторном правцу и разноврсних станишта (влажна подручја, шуме, пашњаци), језеро представља једно од најзначајнијих подручја за птице у региону и проглашено је IBA- Important Bird Area подручјем (BirdLife International, 2020).

Плавско језеро и његова околина богати су херпетофауном (Кнежевић, Киковић 2004; Marić et al., 2019). Микрофлора језера обухвата 270 врста алги из 103 рода, а микрофауна је заступљена са 179 врста (ротаторије, кладоцере, протозое, копеподе), уз бројне бентосне организме који указују на добар квалитет воде (Caković et al., 2013; Pešić et al., 1991).

[4] Програм планирања и управљања природним ресурсима и заштићеним подручјима

4.7. Топографски и батиметријски премјер Плавског језера

Топографски премјер Плавског језера и његовог приобалног појаса извршен је 2017. године од стране Института Јарослав Черни. Обухваћено је снимање ријека Луче и Лима, као и контролна мјерења моренске бране на сјеверној страни језера и лијеве обале ријеке Луче низводно од ушћа. Моренска брана је детаљно измјерена на укупно 126 тачака, коришћењем ручног дубиномјера и GPS пријемника ради прецизног одређивања положаја и дубине. Геодетска мјерења западне и јужне обале Плавског језера, као и приобалног подручја ријеке Лим, извршена су коришћењем података преузетих од Управе за некретнине Црне Горе (грид 10×10 m). Подручје истраживања обухватило је простор од коте 907,00 m (просјечна обална линија) до коте плављења, односно коте 910,00 m. Укупно је обрађено 338 956 тачака. Подаци су георефернцирани по висинској оси и усклађени са постојећим теренским мјерењима на проучаваном подручју. Батиметријско снимање Плавског језера је обухватило детаљно хидрографско мјерење језерског дна и утврђивање морфометријских карактеристика језера. Након завршених геодетских и батиметријских мјерења извршено је обједињавање просторних података, на основу којих је формиран дигитални модел терена (ДМТ). Квадратни мрежни дигитални модели рељефа (ДЕМ), као најраспрострањенији облик организације података о рељефу, одликују се једноставном структуром матрице висинских вриједности која имплицитно приказује просторне односе између тачака, што омогућава њихову ефикасну примјену у рачунарским анализама (Wilson et al., 2000). У овом истраживању ДМТ је формиран у таквој растерској структури. Из тако генерисаног ДМТ извучене су изохипсе са еквидистанцом e=0.5 m. Након тога су израчунате површине и запремине језера са различитим котама. За потребе моделирања коришћен је софтвер Gavran Civil Modelar (GCM 2013).

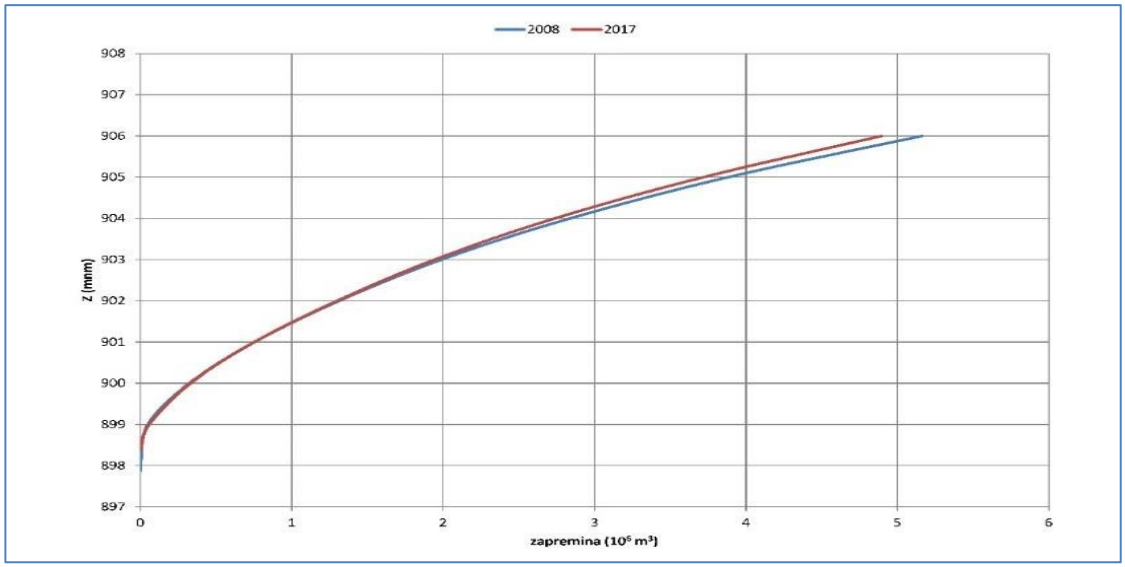
Раније батиметријско и геодетско снимање Плавског језера спровео је Хидрометеоролошки завод Црне Горе – Сектор за хидрографију и океанографију 2008. године. Геодетски премјер обале реализован је у периоду од 18. до 30. августа 2008. године, и обухватио је картирање језера и непосредног приобалног појаса. При анализи резултата коришћени су и ранији картографски и нумерички подаци професора др Стефана Станковића, објављени у лимнолошкој монографији Планинска језера Црне Горе, прикупљени почетком 1970-их година, који су послужили као историјска основа за поређење промјена морфометријских карактеристика језера. У Табели 4.9. су дате површине и запремине језера према различитм дубинама.

Табела 4.9. Површине и запремине Плавског језера према различитим дубинама по Стевану Станковићу (извор: Извјештај о стратешкој процјени утицаја на животну средину просторно-урбанистичког плана Општине Плав, 2020)

Изобата	Површине (ha)	Запремина m^3
0	199,0	7 690 950
1	165,5	5 868 450
2	136,3	4 354 450
3	110,4	3 120 950
4	86,	2 134 950
5	66,3	1369 450
6	45,1	812 450
7	33,1	421 450
8	20,7	152 450
9	8,6	6450

Према претходним истраживањима из 1970-их година, површина Плавског језера на коти 906,72 m надморске висине износила је 199,0 ha. Са друге стране, изведена геодетско-батиметријска мјерења из 2008. године показују да је површина смањена на 179,5 ha, што представља смањење од 19,5 ha или приближно 10% у периоду од око 40 година. Поред тога, запремина језера се смањила са 7.690.950 m³ на 6.325.445 m³, односно за око 17%. Батиметријско снимање ријечних корита Луче и Лима спроведено је примјеном хидрографске ехосондарске методе. Мјерење дубина вршено је једноснопним ултразвучним дубиномјером Navisound 4215, при чему се дубина одређује на основу времена пропагације акустичног таласа од трансдуктора до дна корита и његовог повратка. Добијене дубине су, уз истовремено позиционирање, преведене у коте терена у односу на референтни водостај. Укупно је снимљено 65 144 дубина, које су трансформисане у коте у односу на референтну тачку мјерења на коти 907,10 m. Користећи ручни дубиномјер и GPS пријемник, снимљена је моренска брана са 126 тачака, а контролни профил обале ријеке Луче са 89 тачака, које су упоређене са претходним мјерењима. У 2017. години рађено је батиметријско мјерење по унапријед пројектованим линијама. Контролне линије су рађене на сваких 200 m, док су главне пројектоване на 50 m. Израђени модел и модел из 2008. године (ХМЗ Црне Горе) коришћени су за потребе оцјене промјене топографије Плавског језера, кроз цртање попречних и подужних пресјека терена (Институт Јарослав Черни, 2017). Током поређења премјера уочено је да је мрежа снимања из 2017. године била гушћа у односу на премјер из 2008. године, што је резултирало прецизнијим дигиталним моделом терена. Како су линије

пројектоване на 50 m, велики дио модела је добијен линеарном интерполацијом између снимљених тачака дна језера, па у односу на модел из 2008. године не постоји преклапање попречних профила. Поређењем мјерења из 2008. (Хидрометеоролошки завод Црне Горе) и 2017. године (Институт Јарослав Черни), нису уочене деформације корита Лима на почетној дионици тока, па се корито мора пратити у наредном периоду током дужег времена. Плавско језеро нема довољан ретенциони капацитет да прихвати велике воде Луче, јер поплавни таласи превазилазе његову расположиву запремину, док ријека Лим на излазу из језера посједује високу пропусну моћ рјечног корита. На процес транспорта и депоновања наноса утиче више фактора, укључујући морфометријске карактеристике корита (величину, облик и пад дна), поријекло наноса, крупноћу и минерални састав честица, као и хидролошке услове, посебно појаву поплавних таласа и поријекло поплавних вода. Додатно, процесу депозиције наноса доприносе хемијски и биолошки процеси који изазивају флуктацију честица, као и тип и густина вегетације у приобалној зони. На Слици 4.16. приказане су криве запремине и висине наслаге наноса у Плавском језеру за два временска интервала: 2008. године (мјерење извршено од стране Хидрометеоролошког завода Црне Горе, Подгорица) и 2017. године (мјерење извршено од стране Института Јарослав Черни). Ови подаци илуструју динамику акумулације наноса и указују на просторне и временске варијације у процесу таложења.



Слика 4.16. Криве запремине језера за два временска периода 2008. и 2017. године (извор: Институт Јарослав Черни, Студија ревитализације и заштите Плавског језера, 2018)

У периоду од 2008. до 2017. године дошло је до губитка запремине Плавског језера усљед засипања басена наносом. Укупно смањење запремине износи приближно $0{,}4\times10^{6}$ m^3 (око

400.000 m³) док је у плићим зонама (до 3 m дубине) регистрована акумулација наноса од 5–10 cm годишње.

5. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

У оквиру теренских истраживања спроведена је анализа гранулометријског састава ријечног наноса у Лучи, која омогућава преглед дистрибуције различитих фракција материјала у ријечном кориту, од глине до крупног шљунка и дробине.

5.1. Приказ теренских истраживања, гранулометрија ријечног наноса

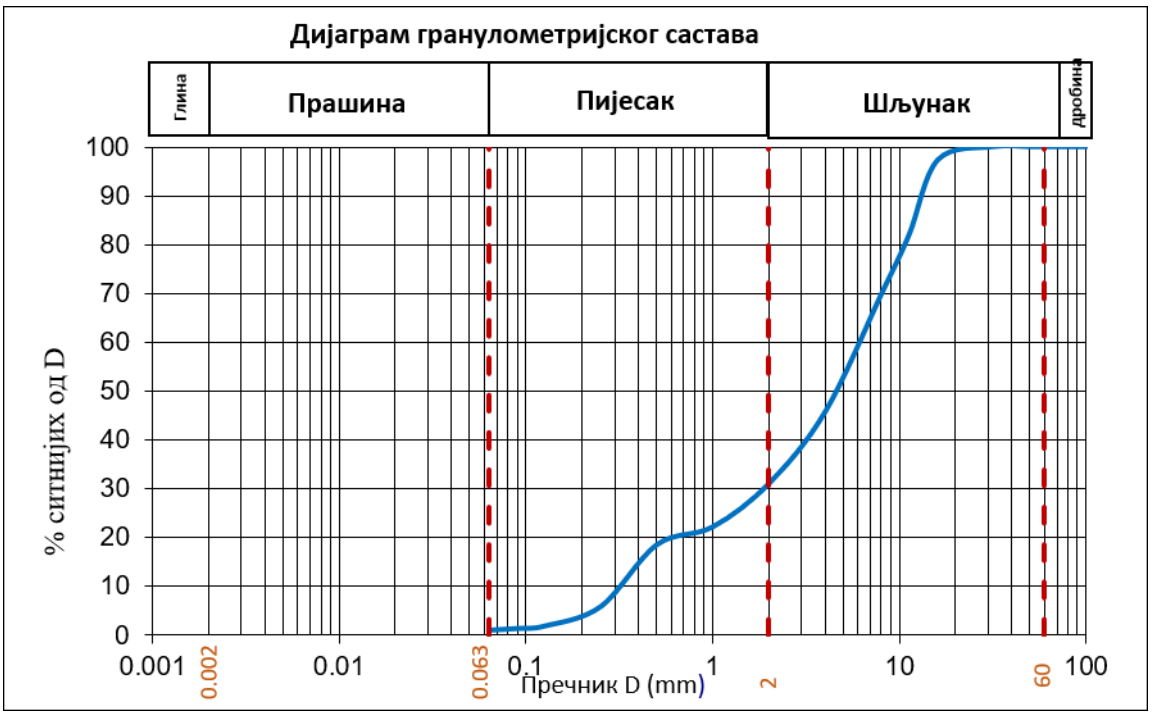
Теренска истраживања обухватила су узорковање ријечног наноса на 16 локација дуж корита Луче, укључујући и тешко приступачне десне обале, а узорци су затим однијети у Лабораторију Геолошког завода Црне Горе на гранулометријску анализу ради утврђивања учешћа појединих фракција материјала.

Табела 5.1. Процентуално учешће фракција наноса у узорку број 1

Фракције				
Глина	Прашина	Пијесак	Шљунак	Дробина
<0,002 mm	0,002-0,06mm	0,06-2 mm	2-60 mm	> 60 mm
%	%	%	%	%
0	1	45	54	0

Табела 5.2. Узорци наноса из ријеке Луче, узорак број 1

Отвор (mm)	Остаци на ситу (g)	Пролаз кроз сито (%)	Проценат ситнијих од D (%)
100	0	0,00	100,00
63	0	0,00	100,00
50	0	0,00	100,00
31,5	0	0,00	100,00
16	11,5	0,84	99,16
11,2	0	0,84	99,16
8	0	0,84	99,16
4	0,2	0,85	99,15
2	2	1,00	99,00
1	8,3	1,60	98,40
0,5	39,3	4,45	95,55
0,25	601,8	48,17	51,83
0,125	485,6	83,44	16,56
0,09	73,3	88,76	11,24
0,063	77,6	94,40	5,60
Дно	77,1	100,00	0,00



Слика 5.1. Дијаграм гранулометријског састава материјала из корита Луче, притоке Плавског језера на основу анализе узорка бр. 1 (извор: аутор)

У првом узорку (Табеле 5.1 и 5.2, Дијаграм 5.1) који је узет на око 400 m од ушћа Луче у Плавско језеро највише је заступљен шљунак са 54% (честице промјера 2-60 mm), пијесак са 45% (честице промјера 0,06-2 mm), док је прашина, са честицама промјера 0,002–0,06 mm, заступљена са 1%. Дробина и глина нијесу заступљене.

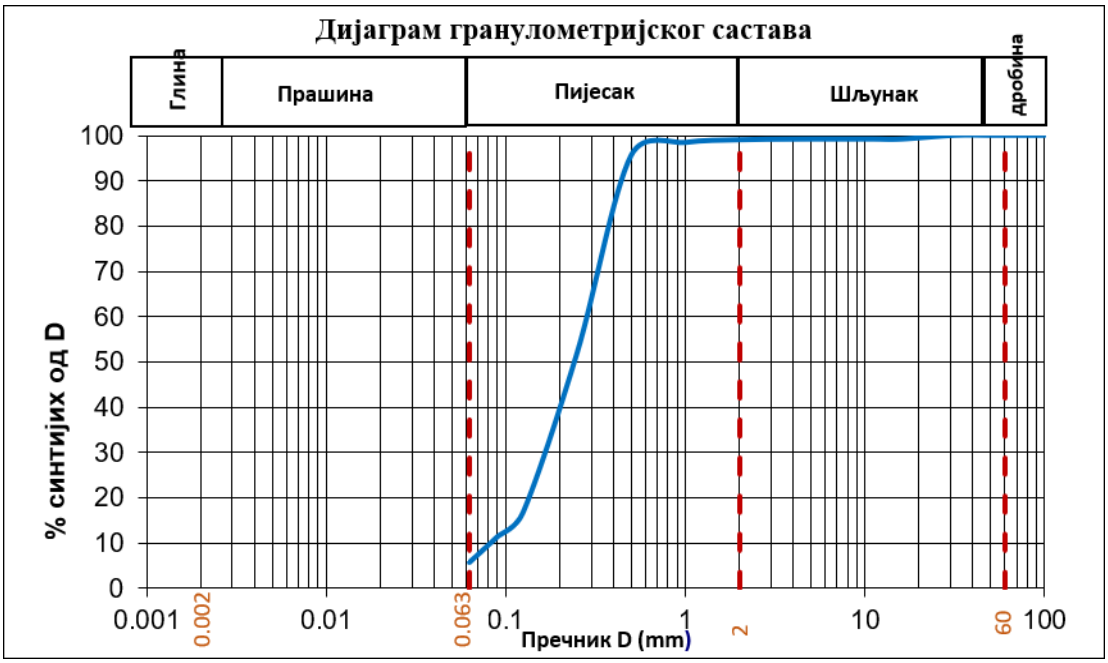
Табела 5.3. Процентуално учешће фракција наноса у узорку број 2

Фракције				
Глина <0,002 mm	Прашина 0,002-0,06mm	Пијесак 0,06-2 mm	Шљунак 2-60 mm	Дробина > 60 mm
%	%	%	%	%
0	0	99	1	0

Табела 5.4. Узорци наноса из ријеке Луче, узорак број 2

Отвор (mm)	Остаци на ситу (g)	Пролаз кроз сито (%)	Проценат ситнијих од D (%)
100	0	0,00	100,00
63	0	0,00	100,00
50	0	0,00	100,00
31,5	0	0,00	100,00
16	25,2	2,70	97,30
11,2	143,9	18,11	81,89
8	111,6	30,06	69,94
4	225,3	54,19	45,81
2	137,4	68,91	31,09
1	83,2	77,82	22,18
0,5	34,4	81,50	18,50
0,25	118,4	94,18	5,82
0,125	37,2	98,17	1,83
0,09	4,5	98,65	1,35
0,063	3,4	99,01	0,99
дно	1,7	99,20	0,80

На основу резултата другог узорка узетог на 500 m од ушћа Луче у Плавско језеро, утврђено је да ријечни нанос углавном чини пијесак (99% фракције 0,06–2 mm), док је шљунак заступљен са 1% (фракција 2–60 mm). Глина и дробина у овом узорку нису присутне.



Слика 5.2. Дијаграм гранулометријског састава материјала из корита Луче, притоке Плавског језера на основу анализе узорка бр. 2 (извор: аутор)

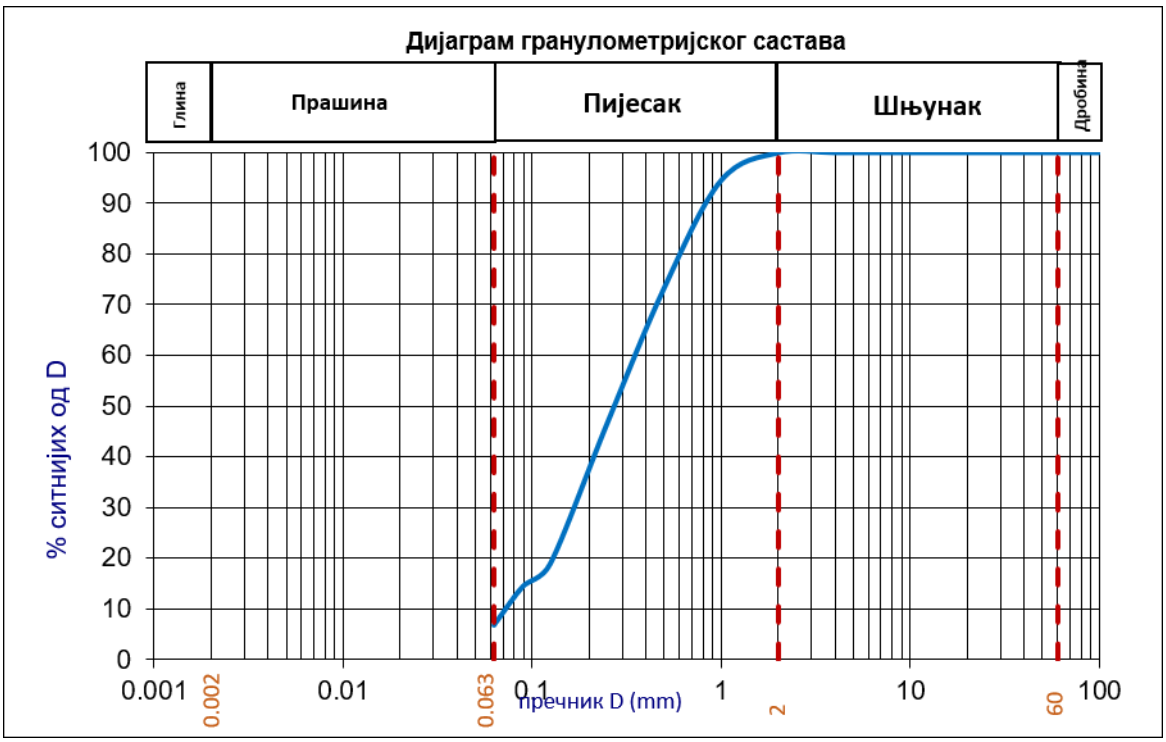
Ови резултати указују на преовладавање средње крупних пјешчаних честица у материјалу, што одражава специфичне хидродинамичке услове у овом дијелу ријечног корита. Гранулометријске криве потврђују чињеницу да се при већим протоцима фини муљевити материјал са дна проноси у суспензији у већим количинама, у односу на мањи проток и ниже брзине тока, када пјесковите фракције долазе до изражаја. Водотоци чији састав дна чини пијесак, садрже гранулометријски састав који је углавном униформан, те је апсолутно прихватљиво као карактеристичан промјер узети управо средњи промјер. Таква слика гранулометрије објашњава се чињеницом да зрна вученог наноса која су увучена у ток воде представљају коритоформирајућу компоненту суспендованог наноса. Ситније честице бивају однешене као транзитна компонента суспендованог наноса. Након проноса наноса дешава се сегрегација, те као вучени нанос остаје врло уска гранулација.

Табела 5.5. Процентуално учешће фракција наноса у узорку број 3

Фракције				
Глина <0,002 mm	Прашина 0,002-0,06mm	Пијесак 0,06-2 mm	Шљунак 2-60 mm	Дробина > 60 mm
%	%	%	%	%
0	0	100	0	0

Табела 5.6. Узорци наноса из ријеке Луче, узорак број 3

Отвор (mm)	Остаци на ситу (g)	Пролаз кроз сито (%)	Проценат ситнијих од D (%)
100	0	0	100
63	0	0,00	100,00
50	0	0,00	100,00
31,5	0	0,00	100,00
16	0	0,00	100,00
11,2	0	0,00	100,00
8	0	0,00	100,00
4	0	0,00	100,00
2	0,8	0,06	99,94
1	72,3	5,55	94,45
0,5	279,5	26,77	73,23
0,25	351	53,42	46,58
0,125	364	81,06	18,94
0,09	57,4	85,42	14,58
0,063	101,3	93,11	6,89
дно	85,8	99,63	0,37



Слика 5.3. Дијаграм гранулометријског састава материјала из корита Луче, притоке Плавског језера на основу анализе узорка бр. 3 (извор: аутор)

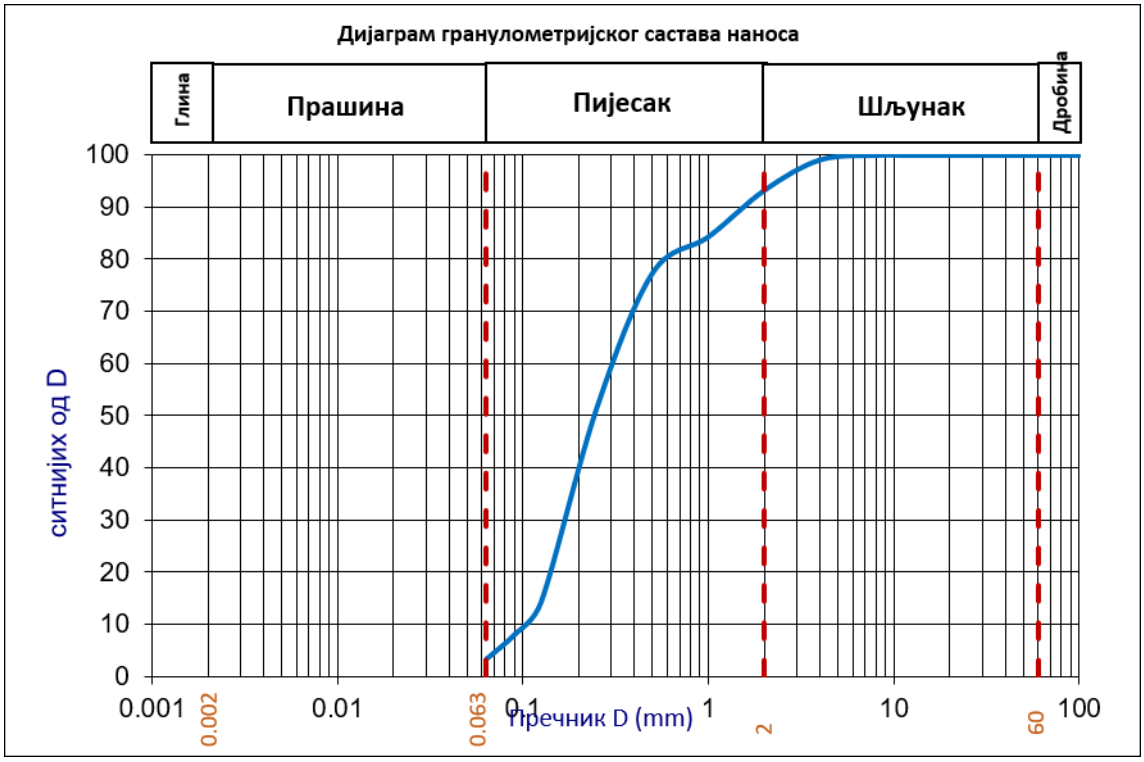
Подаци са Дијаграма 5.3. показују да је у трећем узорку искључиво заступљен пијесак (100%), док присуство глине, прашине, шљунка и дробине није регистровано.

Табела 5.7. Процентуално учешће фракција наноса у узорку број 4

Фракције				
Глина <0,002 mm	Прашина 0,002-0,06mm	Пијесак 0,06-2 mm	Шљунак 2-60 mm	Дробина > 60 mm
%	%	%	%	%
0	0	99	1	0

Табела 5.8. Узорци наноса из ријеке Луче, узорак број 4

Отвор (mm)	Остаци на ситу (g)	Пролаз кроз сито (%)	Проценат ситнијих од D (%)
100	0	0	100,00
63	0	0,00	100,00
50	0	0,00	100,00
31,5	0	0,00	100,00
16	0	0,00	100,00
11,2	0	0,00	100,00
8	0	0,00	100,00
4	9,4	0,86	99,14
2	63,8	6,70	93,30
1	97,2	15,60	84,40
0,5	75,4	22,51	77,49
0,25	282,2	48,34	51,66
0,125	407,4	85,64	14,36
0,09	67,8	91,85	8,15
0,063	52,2	96,63	3,37
дно	35,3	99,86	0,14



Слика 5.4. Дијаграм гранулометријског састава материјала из корита Луче, притоке Плавског језера на основу анализе узорка бр. 4 (извор: аутор)

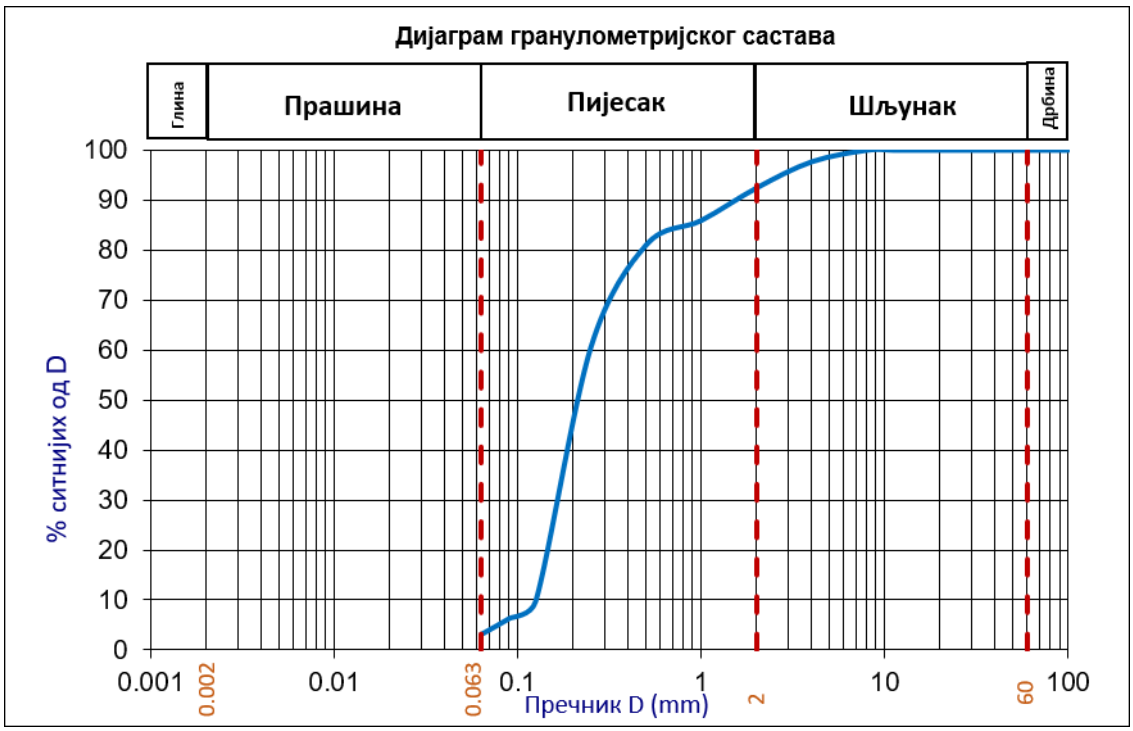
Четврти узорак за анализу гранулометријског састава ријеке Луче узет је на 700 метара од ушћа. Подаци из Табеле 5.7 показују да глина, прашина и дробина нијесу заступљене у овом узорку, док су пијесак и шљунак заступљени стопроцентно. Масени удио пијеска у укупном узорку чини 99% ријечног састава, а шљунка 1%.

Табела 5.9. Процентуално учешће фракција наноса у узорку број 5

Фракције				
Глина <0,002 mm	Прашина 0,002-0,06 mm	Пијесак 0,06-2 mm	Шљунак 2-60 mm	Дробина > 60 mm
%	%	%	%	%
0	0	98	2	0

Табела 5.10. Узорци наноса из ријеке Луче, узорак број 5

Отвор (mm)	Остаци на ситу (g)	Пролаз кроз сито (%)	Проценат ситнијих од D (%)
100	0	0	100,00
63	0	0,00	100,00
50	0	0,00	100,00
31,5	0	0,00	100,00
16	0	0,00	100,00
11,2	0	0,00	100,00
8	0	0,00	100,00
4	24,3	2,30	97,70
2	55,5	7,56	92,44
1	68,8	14,07	85,93
0,5	52	19,00	81,00
0,25	216,3	39,48	60,52
0,125	537,7	90,40	9,60
0,09	36	93,81	6,19
0,063	34,3	97,05	2,95
дно	28,1	99,72	0,28



Слика 5.5. Дијаграм гранулометријског састава материјала из корита Луче, притоке Плавског језера на основу анализе узорка бр. 5 (извор: аутор)

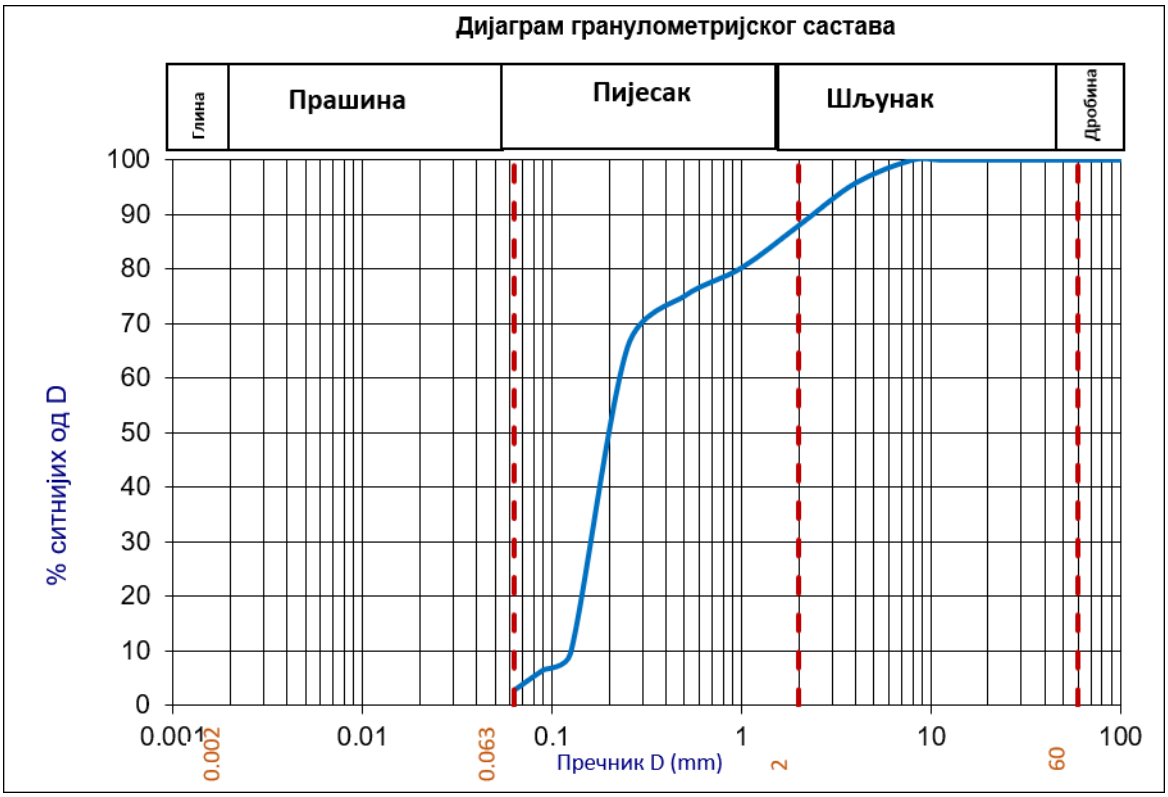
Подаци из Табеле 5.9 и Слике 5.5 показују да је на растојању од 800 метара од ушћа Луче у Плавско језеро ријечни нанос углавном сачињен од пијеска, који чини 98% укупне масе узорка, док је шљунак заступљен са 2%. Подаци из Табеле 5.10 показују да је највећа количина материјала задржана на ситу отвора 0,125 mm, што указује на доминацију ситнозрног пијеска у узорку.

Табела 5.11. Процентуално учешће фракција наноса у узорку број 6

Фракције				
Глина	Прашина	Пијесак	Шљунак	Дробина
<0,002 mm	0,002-0,06mm	0,06-2 mm	2-60 mm	> 60 mm
%	%	%	%	%
0	0	96	4	0

Табела 5.12. Узорци наноса из ријеке Луче, узорак број 6

Отвор (mm)	Остаци на ситу (g)	Пролаз кроз сито (%)	Проценат ситнијих од D (%)
100	0	0,00	100,00
63	0	0,00	100,00
50	0	0,00	100,00
31,5	0	0,00	100,00
16	0	0,00	100,00
11,2	0	0,00	100,00
8	0	0,00	100,00
4	45,1	4,23	95,77
2	83,6	12,06	87,94
1	82,4	19,78	80,22
0,5	55,1	24,95	75,05
0,25	100,3	34,35	65,65
0,125	599,1	90,50	9,50
0,09	32,1	93,51	6,49
0,063	40	97,25	2,75
дно	28,7	99,94	0,06



Слика 5.6. Дијаграм гранулометријског састава материјала из корита Луче, притоке Плавског језера на основу анализе узорка бр. 6 (извор: аутор)

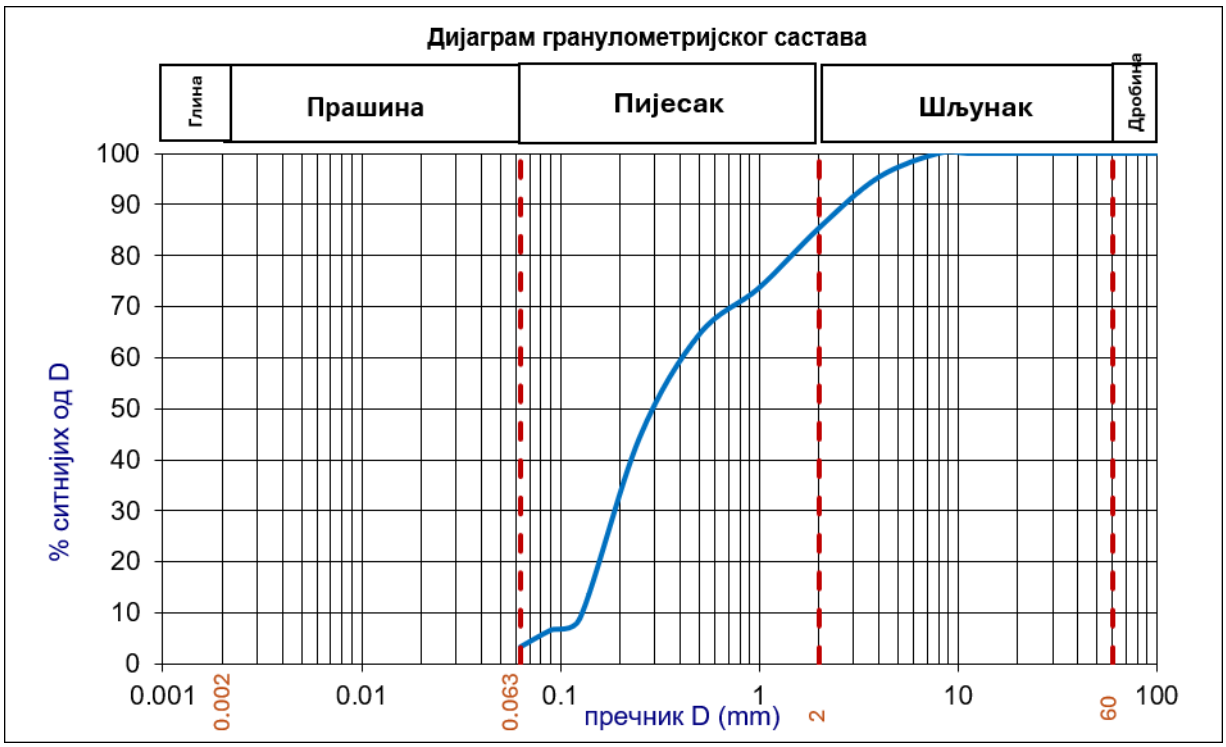
На темељу гранулометријске анализе спроведене 2023. године, утврђено је да је материјал ријечног дна у кориту ријеке Луче доминантно пјесковитог састава. Резултати приказани у Табели 5.11 показују да пијесак учествује са чак 96%, док је учешће шљунка свега 4%. Фракције глине, прашине и дробине нијесу забиљежене у анализи, што указује на релативно уједначен и добро сортиран нанос. Подаци из Табеле 5.12 показују да је највећа количина материјала задржана на ситу отвора 0,125 mm, гдје је регистровано 599,1 g остатка, што чини преко 56% укупног узорка. Таква расподјела јасно указује на преовлађивање ситнозрног пијеска у кориту ријеке Луче.

Табела 5.13. Процентуално учешће фракција наноса у узорку број 7

Фракције				
Глина	Прашина	Пијесак	Шљунак	Дробина
<0,002 mm	0,002-0,06mm	0,06-2 mm	2-60 mm	> 60 mm
%	%	%	%	%
0	0	95	5	0

Табела 5.14. Узорци наноса из ријеке Луче, узорак број 7

Отвор (mm)	Остаци на ситу (g)	Пролаз кроз сито (%)	Проценат ситнијих од D (%)
100	0	0	100
63	0	0.00	100.00
63	0	0,00	100,00
50	0	0,00	100,00
31,5	0	0,00	100,00
16	0	0,00	100,00
11,2	0	0,00	100,00
8	0	0,00	100,00
4	64,2	4,69	95,31
2	136,5	14,67	85,33
1	160,1	26,37	73,63
0,5	124,6	35,48	64,52
0,25	277,3	55,75	44,25
0,125	485,5	91,24	8,76
0,09	29,2	93,38	6,62
0,063	45,5	96,70	3,30
дно	42,8	99,83	0,17



Слика 5.7. Дијаграм гранулометријског састава материјала из корита Луче, притоке Плавског језера на основу анализе узорка бр. 7 (извор: аутор)

Према подацима из Табеле 5.13, вучени нанос у профилу Луче готово у потпуности чини пијесак (95%), уз мали удио шљунка (5%), док глина, прашина и крупније фракције (дробина) нису заступљене. Оваква структура указује на добро испран, зрнаст материјал са доминацијом средњег до крупног пијеска, типичног за водотоке са умјерено јаким хидрауличким енергијама. То значи да ријека у овом дијелу има довољну енергију да транспортује ситнији материјал (глину и прашину), али не и довољно да покреће значајне количине крупног шљунка или дробине. Подаци из Табеле 5.14 потврђују ову појаву, јер је највећи дио материјала задржан на ситима мањих отвора, посебно на ситу отвора 0,125 mm, што указује на доминацију ситнозрног и средњезрног пијеска у наносу.

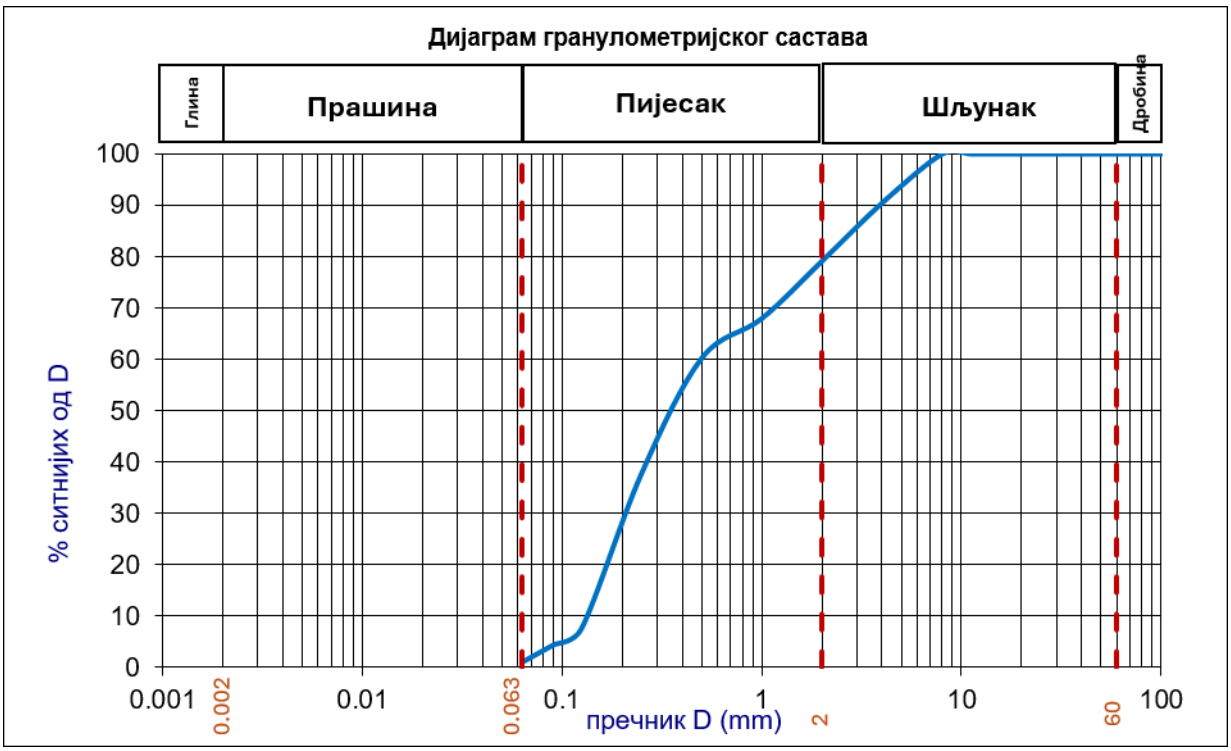
Табела 5.15. Процентуално учешће фракција наноса у узорку број 8

Фракције				
Глина	Прашина	Пијесак	Шљунак	Дробина
<0,002 mm	0,002-0,06mm	0,06-2 mm	2-60 mm	> 60 mm
%	%	%	%	%
0	0	90	10	0

Табела 5.16. Узорци наноса из ријеке Луче, узорак број 8

Отвор (mm)	Остаци на ситу (g)	Пролаз кроз сито (%)	Проценат ситнијих од D (%)
100	0	0	100
63	0	0,00	100,00
50	0	0,00	100,00
31,5	0	0,00	100,00
16	0	0,00	100,00
11,2	0	0,00	100,00
8	0	0,00	100,00
4	121,1	9,55	90,45
2	143,8	20,89	79,11
1	141,7	32,07	67,93
0,5	98,2	39,82	60,18
0,25	284,9	62,29	37,71
0,125	383,7	92,55	7,45
0,09	40,3	95,73	4,27
0,063	42,4	99,08	0,92
дно	10	99,87	0,13

Вучени ријечни нанос на профилу ријеке Луче (Табела 5.15) карактерише изразита доминација пјесковите фракције (90%), док шљунак учествује са 10%, а глина, прашина и дробина нису заступљене. Ограничено присуство шљунка упућује на повремене појаве интензивнијих протицаја који могу покренути крупнији материјал, али без значајног утицаја на укупни зрнаст састав. Табела 5.16 и Дијаграм 5.8 показују постепено опадање количине крупнијих честица и преовлађивање финијих фракција.



Слика 5.8. Дијаграм гранулометријског састава материјала из корита Луче, притоке Плавског језера на основу анализе узорка бр. 8 (извор: аутор)

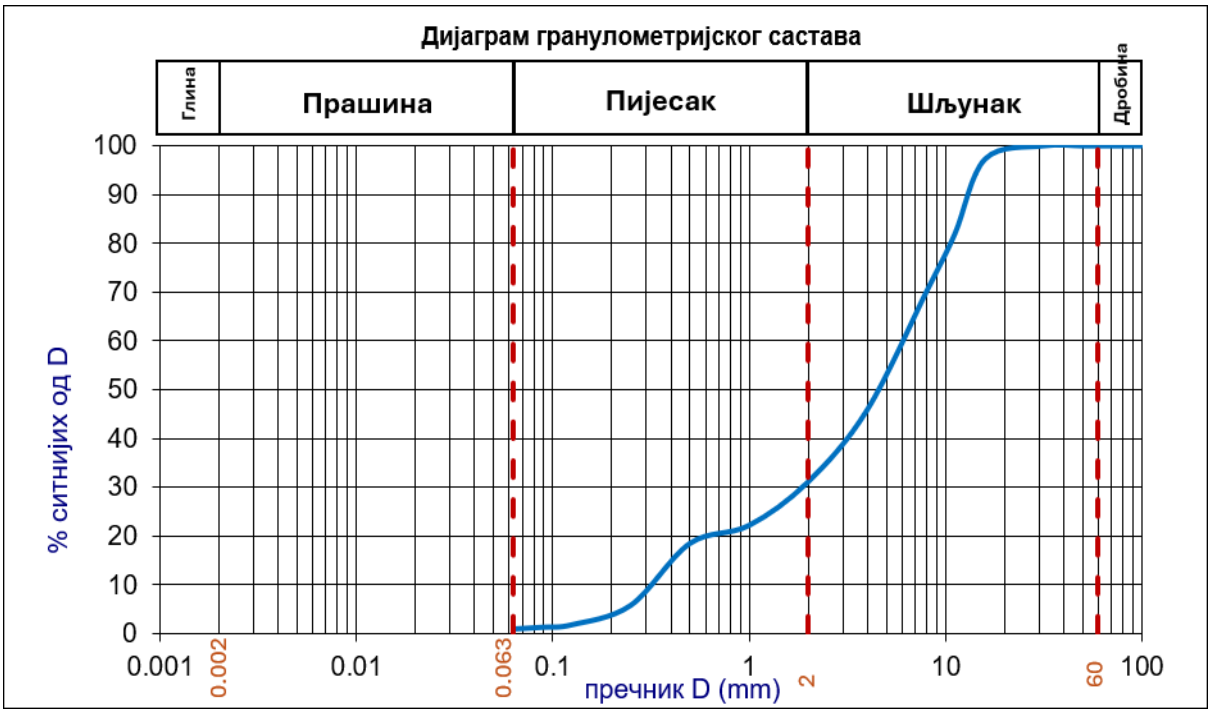
Табела 5.17. Процентуално учешће фракција наноса у узорку број 9

Фракције				
Глина <0,002 mm	Прашина 0,002-0,06 mm	Пијесак 0,06-2 mm	Шљунак 2-60 mm	Дробина > 60 mm
%	%	%	%	%
0	1	45	54	0

На лијевој и десној обали ријеке Луче преваладавају пијесак и шљунак (Табела 5.17). Пијесак је заступљен са 45%, шљунак 54%, док остали материјали нијесу присутни. Оваква гранулометријска структура указује на присуство материјала који је изложен интензивнијем механичком транспорту и већој енергији водотока у односу на претходне профиле. Подаци из Табеле 5.18 показују да је највећи дио материјала задржан на ситима отвора 4 mm, 11,2 mm и 8 mm, што потврђује значајно учешће шљунковитих фракција у укупном наносу. Истовремено, мањи проценат ситнијих честица указује на слабију заступљеност финих фракција и на услове у којима ријека има довољну транспортну снагу да задржи и покреће крупнији материјал. Оваква структура наноса карактеристична је за дијелове корита са већом брзином тока и израженијим ерозивним процесима.

Табела 5.18. Узорци наноса из ријеке Луче, узорак број 9

Отвор (mm)	Остаци на ситу (g)	Пролаз кроз сито (%)	Проценат ситнијих од D (%)
100	0	0	100
63	0	0,00	100,00
50	0	0,00	100,00
31,5	0	0,00	100,00
16	25,2	2,70	97,30
11,2	143,9	18,11	81,89
8	111,6	30,06	69,94
4	225,3	54,19	45,81
2	137,4	68,91	31,09
1	83,2	77,82	22,18
0,5	34,4	81,50	18,50
0,25	118,4	94,18	5,82
0,125	37,2	98,17	1,83
0,09	4,5	98,65	1,35
0,063	3,4	99,01	0,99
дно	1,7	99,20	0,80



Слика 5.9. Дијаграм гранулометријског састава материјала из корита Луче, притоке Плавског језера на основу анализе узорка бр. 9 (извор: аутор)

Табела 5.19. Процентуално учешће фракција наноса у узорку број 10

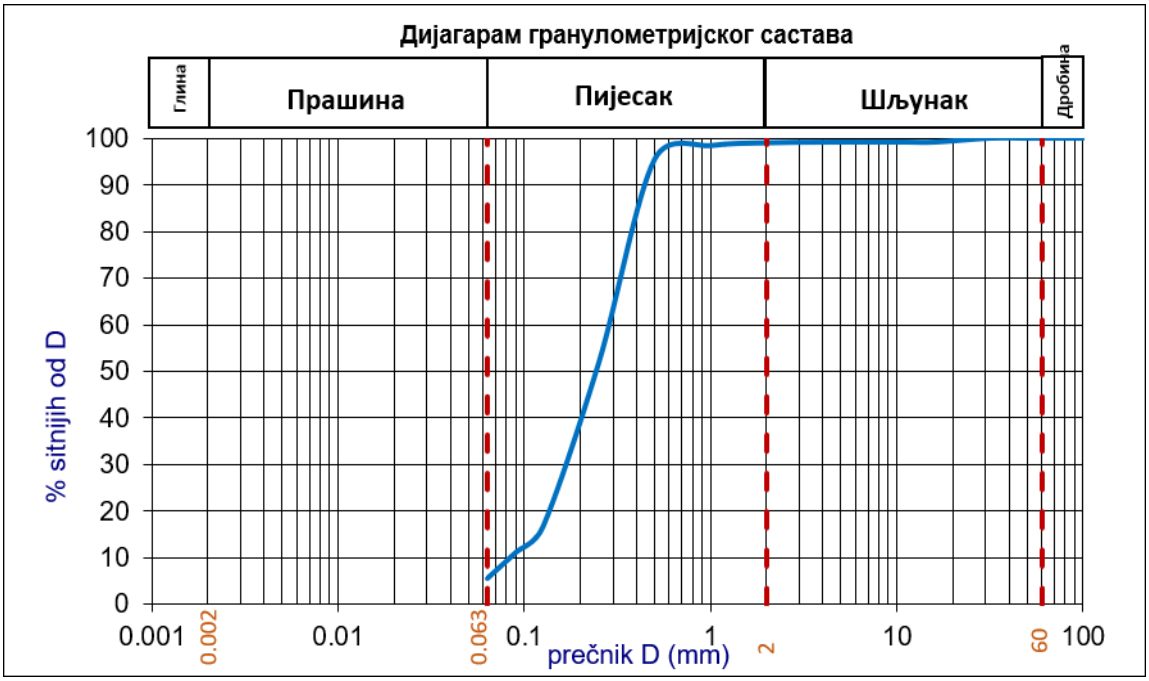
Фракције				
Глина	Прашина	Пијесак	Шљунак	Дробина
<0,002 mm	0,002-0,06mm	0,06-2 mm	2-60 mm	> 60 mm
%	%	%	%	%
0	0	99	1	0

Подаци из Табеле 5.20 потврђују изразиту доминацију пјесковитог материјала у узорку број 10. Највећа количина наноса задржана је на ситима отвора 0,25 mm и 0,125 mm, што указује на преовлађивање ситног и средњег пијеска у ријечном кориту.

Табела 5.20. Узорци наноса из ријеке Луче, узорак број 10

Отвор (mm)	Остаци на ситу (g)	Пролаз кроз сито (%)	Проценат ситнијих од D (%)
100	0	0	100,00
63	0	0,00	100,00
50	0	0,00	100,00
31,5	0	0,00	100,00
16	11,5	0,84	99,16
11,2	0	0,84	99,16
8	0	0,84	99,16
4	0,2	0,85	99,15
2	2	1,00	99,00
1	8,3	1,60	98,40
0,5	39,3	4,45	95,55
0,25	601,8	48,17	51,83
0,125	485,6	83,44	16,56
0,09	73,3	88,76	11,24
0,063	77,6	94,40	5,60
дно	77,1	100,00	0,00

Учешће шљунковитих фракција је минимално, што је у складу са резултатима приказаним у Табели 5.19. Оваква гранулометријска структура указује на добро сортиран нанос и услове транспорта у којима ријека углавном преноси ситнији материјал. Одсуство глине, прашине и крупнијих фракција упућује на стабилније хидродинамичке услове и мањи утицај интензивних бујичних процеса у испитиваном профилу.



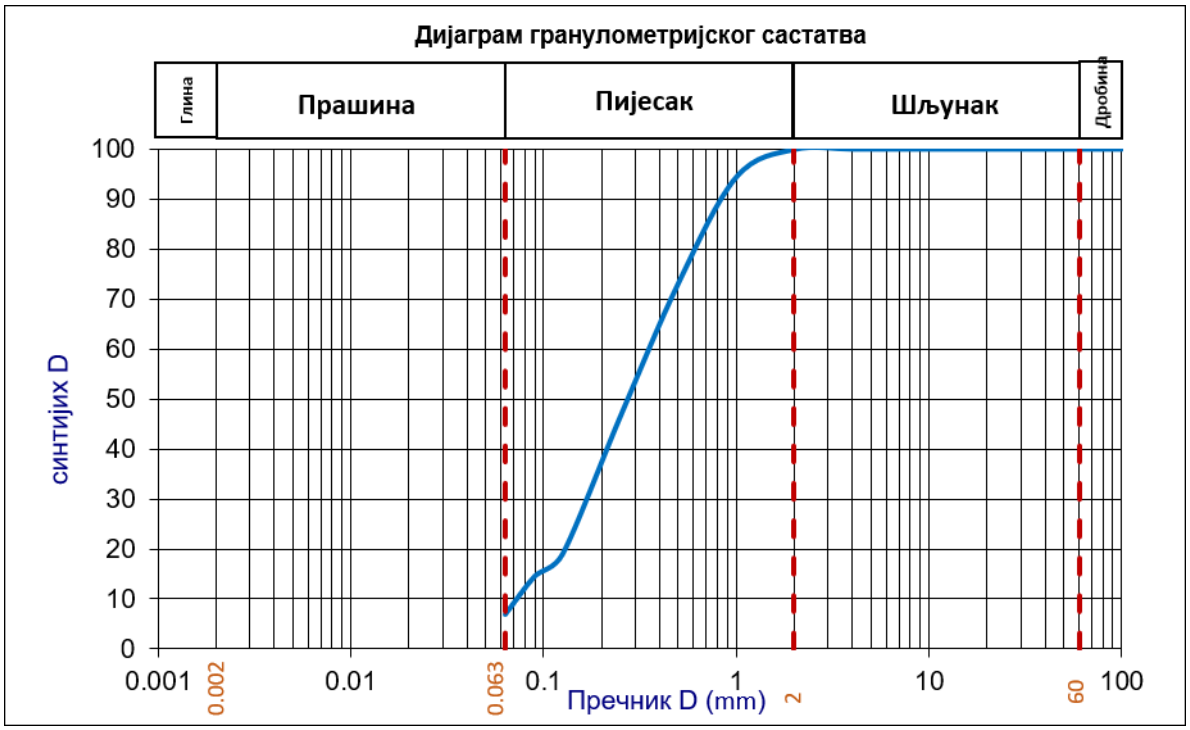
Слика 5.10. Дијаграм гранулометријског састава материјала из корита Луче, притоке Плавског језера на основу анализе узорка бр. 10 (извор: аутор)

Табела 5.21. Процентуално учешће фракција наноса у узорку број 11

Фракције				
Глина <0,002 mm	Прашина 0,002-0,06mm	Пијесак 0,06-2 mm	Шљунак 2-60 mm	Дробина > 60 mm
%	%	%	%	%
0	0	100	0	0

Табела 5.22. Узорци наноса из ријеке Луче, узорак број 11

Отвор (mm)	Остаци на ситу (g)	Пролаз кроз сито (%)	Проценат ситнијих од D (%)
100	0	0	100,00
63	0	0,00	100,00
50	0	0,00	100,00
31,5	0	0,00	100,00
16	0	0,00	100,00
11,2	0	0,00	100,00
8	0	0,00	100,00
4	0	0,00	100,00
2	0,8	0,06	99,94
1	72,3	5,55	94,45
0,5	279,5	26,77	73,23
0,25	351	53,42	46,58
0,125	364	81,06	18,94
0,09	57,4	85,42	14,58
0,063	101,3	93,11	6,89
дно	85,8	99,63	0,37



Слика 5.11. Дијаграм гранулометријског састава материјала из корита Луче, притоке Плавског језера на основу анализе узорка бр. 11 (извор: аутор)

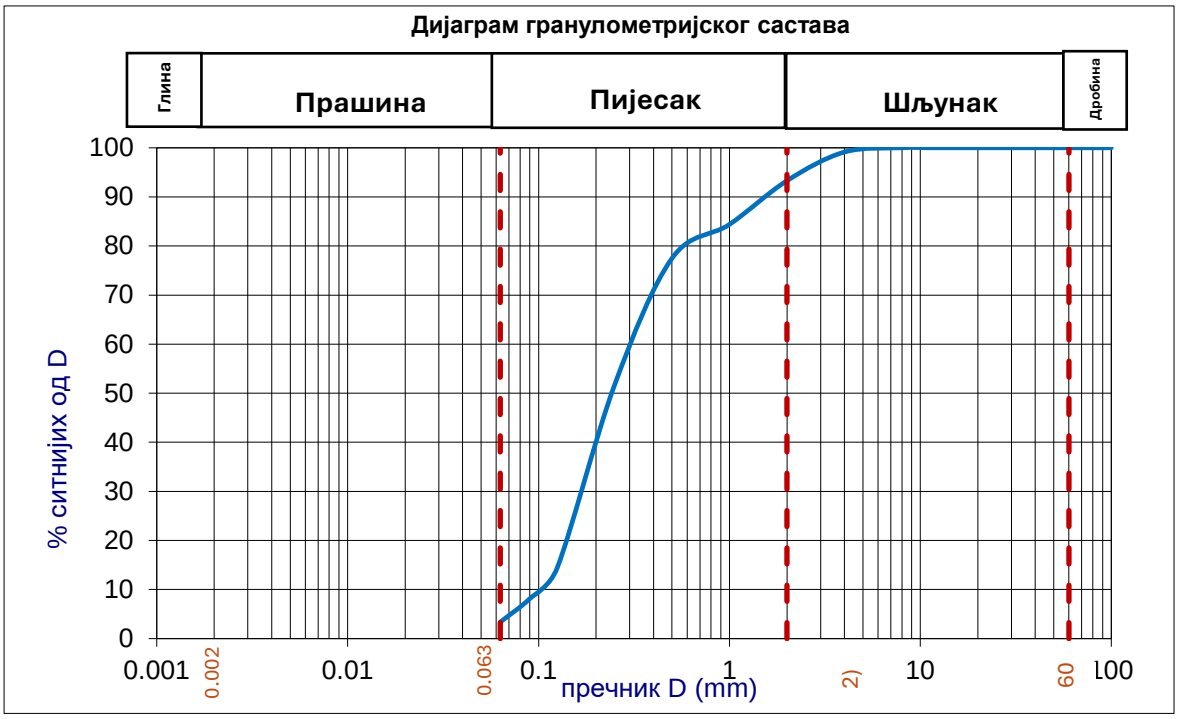
Према подацима из Табеле 5.21, гранулометријски састав узорка број 11 у потпуности је изграђен од пјесковите фракције, која чини 100% укупног наноса. Фракције глине, прашине, шљунка и дробине нијесу заступљене. Резултати приказани у Табели 5.22 и на Слици 5.11 показују да највећи дио наноса припада распону ситног и средњег пијеска, са највећим задржавањем материјала на ситима отвора 0,25 mm и 0,125 mm. Крива гранулометријског састава има правилан и постепен ток, што указује на стабилне услове транспорта и таложења у кориту ријеке Луче. Одсуство крупнијих фракција упућује на смањену енергију тока и доминацију процеса акумулације ситнијег наноса.

Табела 5.23. Процентуално учешће фракција наноса у узорку број 12

Фракције				
Глина	Прашина	Пијесак	Шљунак	Дробина
<0,002 mm	0,002-0,06mm	0,06-2 mm	2-60 mm	> 60 mm
%	%	%	%	%
0	0	99	1	0

Табела 5.24. Узорци наноса из ријеке Луче, узорак број 12

Отвор (mm)	Остаци на ситу (g)	Пролаз кроз сито (%)	Проценат ситнијих од D (%)
100	0	0,00	100,00
63	0	0,00	100,00
50	0	0,00	100,00
31,5	0	0,00	100,00
16	0	0,00	100,00
11,2	0	0,00	100,00
8	0	0,00	100,00
4	9,4	0,86	99,14
2	63,8	6,70	93,30
1	97,2	15,60	84,40
0,5	75,4	22,51	77,49
0,25	282,2	48,34	51,66
0,125	407,4	85,64	14,36
0,09	67,8	91,85	8,15
0,063	52,2	96,63	3,37
дно	35,3	99,86	0,14



Слика 5.12. Дијаграм гранулометријског састава материјала из корита Луче, притоке Плавског језера на основу анализе узорка бр. 12 (извор: аутор)

На десној обали профила Луче (Слика 5.12), узводно од ушћа**,** гранулометријски састав вученог наноса показује изразиту доминацију пјесковите фракције (99%), док је учешће шљунковите компоненте (2–60 mm) минимално и износи 1%. Фине фракције (глина и прашина) као и крупнозрни материјал (дробина) нису заступљени. Оваква текстурна структура указује на висок степен хидродинамичке селекције, при чему је ријека у стању да транспортује и депонује углавном средње до крупнозрни пијесак, док се ситније честице континуирано односе низводно.

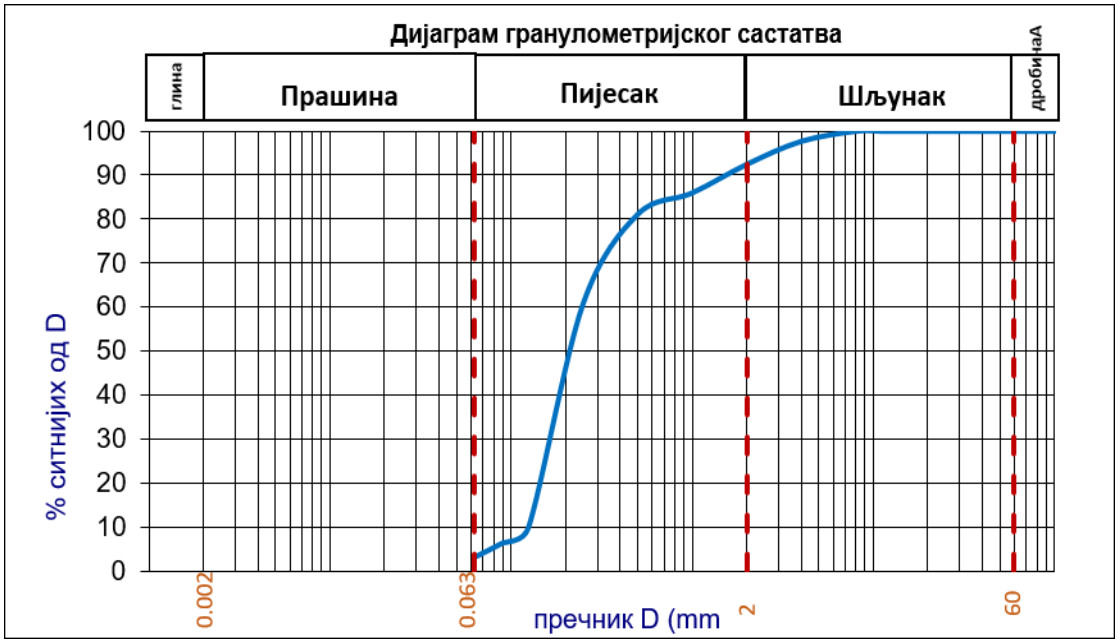
Табела 5.25. Процентуално учешће фракција наноса у узорку број 13

Фракције				
Глина	Прашина	Пијесак	Шљунак	Дробина
<0,002 mm	0,002-0,06mm	0,06-2 mm	2-60 mm	> 60 mm
%	%	%	%	%
0	0	97	2	0

Табела 5.26. Узорци наноса из ријеке Луче, узорак број 13

Отвор (mm)	Остаци на ситу (g)	Пролаз кроз сито (%)	Проценат ситнијих од D (%)
100	0	0,00	100,00
63	0	0,00	100,00
50	0	0,00	100,00
31,5	0	0,00	100,00
16	0	0,00	100,00
11,2	0	0,00	100,00
8	0	0,00	100,00
4	24,3	2,30	97,70
2	55,5	7,56	92,44
1	68,8	14,07	85,93
0,5	52	19,00	81,00
0,25	216,3	39,48	60,52
0,125	537,7	90,40	9,60
0,09	36	93,81	6,19
0,063	34,3	97,05	2,95
dno	28,1	99,72	0,28

У тринаестом узорку, гранулометријска анализа показује да је ријечни нанос углавном сачињен од пијеска (97%) уз мању примјесу шљунка (2%). На основу гранулометријске криве могуће је закључити да у анализираном ријечном саставу доминира ситни ријечни материјал и то пјесковити материјал са 96% док је шљунак заступљен од 4%.



Слика 5.13. Дијаграм гранулометријског састава материјала из корита Луче, притоке Плавског језера на основу анализе узорка бр. 13 (извор: аутор)

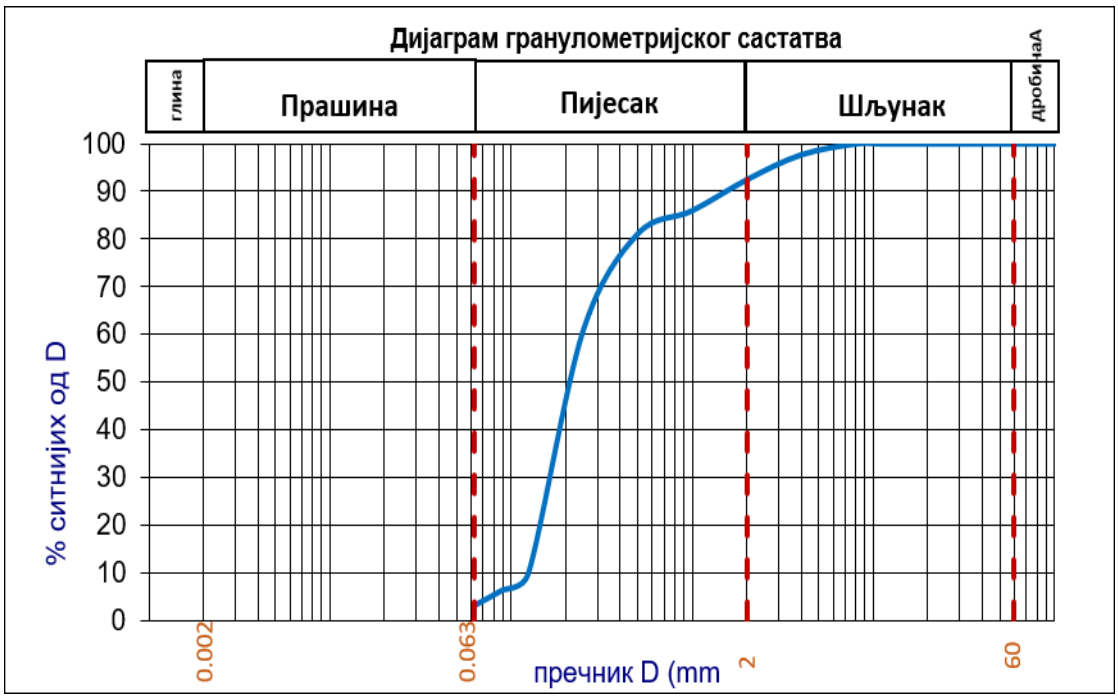
Табела 5.27. Процентуално учешће фракција наноса у узорку број 14

Фракције				
Глина <0,002 mm	Прашина 0,002-0,06mm	Пијесак 0,06-2 mm	Шљунак 2-60 mm	Дробина > 60 mm
%	%	%	%	%
0	0	96	4	0

Према подацима из Табеле 5.27, у узорку број 14 доминира пјесковита фракција са учешћем од 96%, док шљунак учествује са 4%. Фракције глине, прашине и дробине нијесу регистроване, што указује на уједначен гранулометријски састав наноса. Резултати приказани у Табели 5.28 и на Слици 5.14 показују да је највећа концентрација материјала присутна у распону ситног до средњег пијеска, посебно код отвора сита 0,125 mm.

Табела 5.28. Узорци наноса из ријеке Луче, узорак број 14

Отвор (mm)	Остаци на ситу (g)	Пролаз кроз сито (%)	Проценат ситнијих од D (%)
100	0	0,00	100,00
63	0	0,00	100,00
50	0	0,00	100,00
31,5	0	0,00	100,00
16	0	0,00	100,00
11,2	0	0,00	100,00
8	0	0,00	100,00
4	45,1	4,23	95,77
2	83,6	12,06	87,94
1	82,4	19,78	80,22
0,5	55,1	24,95	75,05
0,25	100,3	34,35	65,65
0,125	599,1	90,50	9,50
0,09	32,1	93,51	6,49
0,063	40	97,25	2,75
дно	28,7	99,94	0,06



Слика 5.14. Дијаграм гранулометријског састава материјала из корита Луче, притоке Плавског језера на основу анализе узорка бр. 14 (извор: аутор)

Крива гранулометријског састава има изражен пораст у зони пјесковитих фракција. Мање присуство шљунка упућује на повремено кретање крупнијег материјала током појачаних протицаја, али без значајнијег учешћа у укупном наносу.

Табела 5.29. Процентуално учешће фракција наноса у узорку број 15

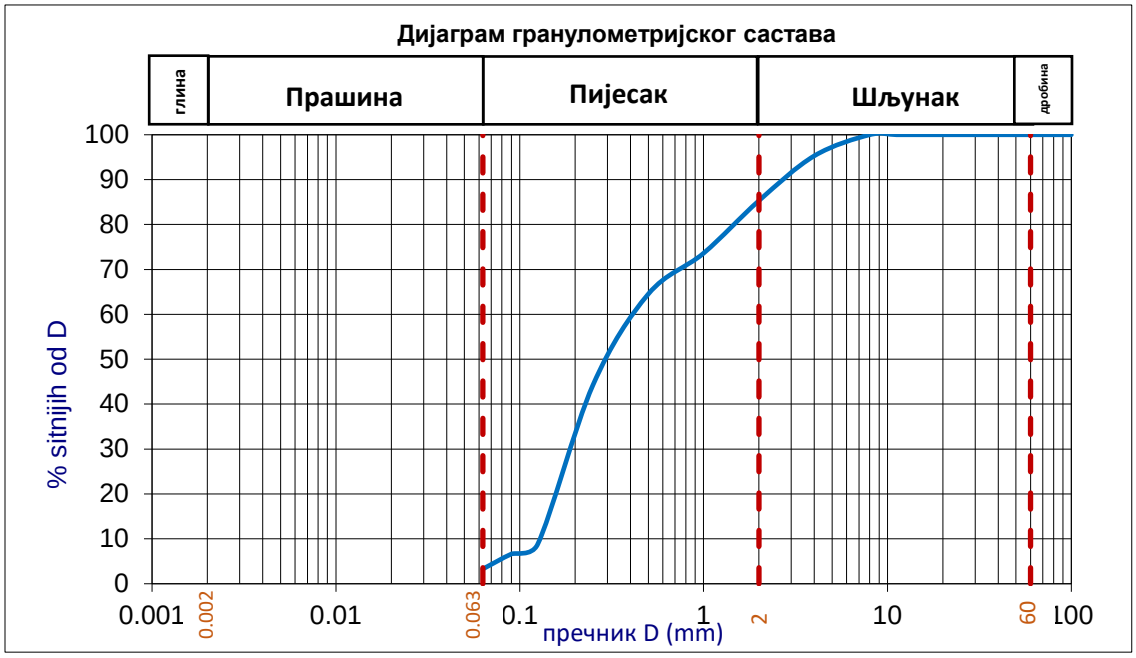
Фракције				
Глина <0,002 mm	Прашина 0,002-0,06mm	Пијесак 0,06-2 mm	Шљунак 2-60 mm	Дробина > 60 mm
%	%	%	%	%
0	0	95	5	0

Табела 5.29 приказује гранулометријски састав ријечног наноса у Лучи. На основу добијених резултата, ријечни нанос углавном се састоји од пијеска (95%), док је шљунак присутан у мањем омјеру (5%). Глина и прашина нису заступљени, нити је присутна дробина. Овај састав указује на преовладавање средње крупних пјешчаних честица у наносу, што је типично за динамичније токове ријеке и указује на релативно висок транспортни капацитет корита на посматраном локалитету.

Табела 5.30. Узорци наноса из ријеке Луче, узорак број 15

Отвор (mm)	Остаци на ситу (g)	Пролаз кроз сито (%)	Проценат ситнијих од D (%)
100	0	0,00	100,00
63	0	0,00	100,00
50	0	0,00	100,00
31.5	0	0,00	100,00
16	0	0.00	100,00
11.2	0	0.00	100,00
8	0	0.00	100,00
4	64,2	4,69	95,31
2	136,5	14,67	85,33
1	160,1	26,37	73,63
0,5	124,6	35,48	64,52
0.25	277,3	55,75	44,25
0,125	485,5	91,24	8,76
0,09	29,2	93,38	6,62
0,063	45,5	96,70	3,30
дно	42,8	99,83	0,17

Гранулометријска анализа узорака наноса из ријеке Луче (Табела 5.30) показује да је нанос углавном сачињен од пијеска средње крупноће, са значајним садржајем ситнијих фракција (0,125–0,25 mm), док је шљунак присутан у мањем омјеру.



Слика 5.15. Дијаграм гранулометријског састава материјала из корита Луче, притоке Плавског језера на основу анализе узорка бр.15 (извор: аутор)

Гранулометријска анализа узорака наноса из ријеке Луче (Табеле 5.31 и 5.32, Слика 5.16) показује да је нанос углавном сачињен од пијеска средње крупноће (фракције 0,125–0,25 mm), са присуством шљунка у мањем омјеру. Највећа маса остатака на ситу при 4 mm и 2 mm указује на постојање крупнијих пјешчаних и шљунковитих честица, али доминирају ситније пјесковите фракције (0,125–0,5 mm).

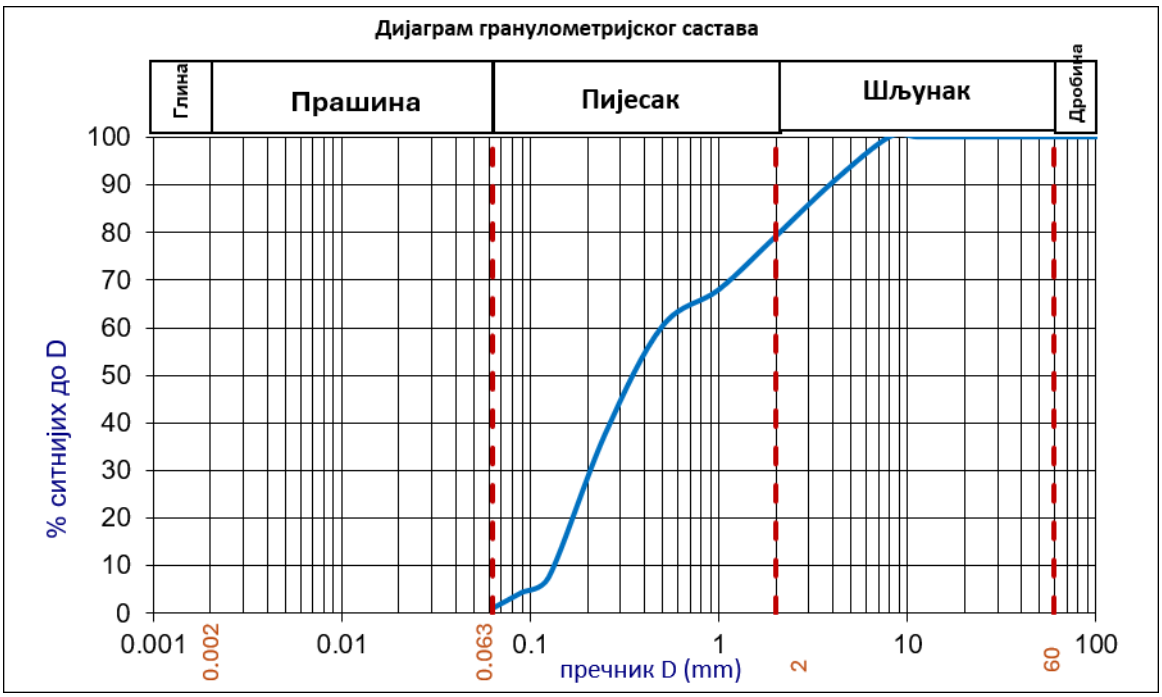
Дробина је минимално заступљена (0,13%), а глина и прашина нису присутни, што указује на превладавање пјесковитог материјала и релативно висок транспортни капацитет ријечног тока на посматраном локалитету.

Табела 5.31. Процентуално учешће фракција наноса у узорку број 16

Фракције				
Глина <0,002 mm	Прашина 0,0020,06mm	Пијесак 0,06-2 mm	Шљунак 2-60 mm	Дробина > 60 mm
%	%	%	%	%
0	0	90	10	0

Табела 5.32. Узорци наноса из ријеке Луче, узорак број 16

Отвор (mm)	Остаци на ситу (g)	Пролаз кроз сито (%)	Проценат ситнијих од D (%)
100	0	0,00	100,00
63	0	0,00	100,00
50	0	0,00	100,00
31,5	0	0,00	100,00
16	0	0,00	100,00
11,2	0	0,00	100,00
8	0	0,00	100,00
4	121,1	9,55	90,45
2	143,8	20,89	79,11
1	141,7	32,07	67,93
0,5	98,2	39,82	60,18
0,25	284,9	62,29	37,71
0,125	383,7	92,55	7,45
0,09	40,3	95,73	4,27
0,063	42,4	99,08	0,92
дно	10	99,87	0,13



Слика 5.16. Дијаграм гранулометријског састава материјала из корита Луче, притоке Плавског језера на основу анализе узорка бр.16 (извор: аутор)

На основу приказаних гранулометријских кривих материјала очитаване су вриједности карактеристичних пречника наноса d5, d10, d25, d30, d50, d60, d75, d90, d95 и d97,5 (Табела 5.33), на основу којих су рачунати коефицијенти неједнородности наноса (Табела 5.34).

Табела 5.33. Пречници наноса (mm)

Редни број узорка	d_5	d_{10}	d_{25}	d_{30}	d_{50}	d_{60}	d_{75}	d_{90}	d_{95}	$d_{97.5}$	d_{max}
1	0,217	0,314	1,245	1,84	4,512	6,013	9,225	13,513	15,171	16,823	16
2	0,040	0,083	0,148	0,163	0,241	0,285	0,361	0,458	0,496	0,803	16
3	0,019	0,073	0,146	0,165	0,273	0,354	0,530	0,865	1,072	1,470	2
4	0,071	0,099	0,152	0,167	0,242	0,313	0,468	1,547	2,447	3,292	4
5	0,079	0,126	0,154	0,165	0,217	0,248	0,408	1,542	2,802	3,896	4
6	0,078	0,126	0,151	0,161	0,206	0,233	0,498	2,400	3,736	5,311	4
7	0,076	0,128	0,172	0,189	0,304	0,428	1,085	2,766	3,915	5,529	4
8	0,097	0,133	0,187	0,210	0,365	0,497	1,550	3,891	5,565	6,672	4
9	0,217	0,314	1,245	1,84	4,512	6,013	9,225	13,513	15,171	16,823	16
10	0,040	0,083	0,148	0,163	0,241	0,285	0,361	0,458	0,496	0,803	16
11	0,019	0,073	0,146	0,165	0,273	0,354	0,530	0,865	1,072	1,470	2
12	0,071	0,099	0,152	0,167	0,242	0,313	0,468	1,547	2,447	3,292	4
13	0,079	0,126	0,154	0,165	0,217	0,248	0,408	1,542	2,802	3,896	4
14	0,078	0,126	0,151	0,161	0,206	0,233	0,498	2,400	3,736	5,311	4
15	0,076	0,128	0,172	0,189	0,304	0,428	1,085	2,766	3,915	5,529	4
16	0.097	0.133	0.187	0.365	0.497	1.550	3.891	5.565	6.672	6,67	8

Табела 5.34. Коефицијенти неједнородности наноса

Редни број узорка	U	Km	Kk	S	S_0	Kd
1	19,14	43,01	69,97	2,72	0,367	1,825
2	3,42	5,50	12,26	1,56	0,639	1,931
3	4,87	11,88	56,55	1,91	0,524	2,319
4	3,15	15,58	34,40	1,75	0,571	3,685
5	1,98	12,27	35,50	1,63	0,615	4,241
6	1,85	19,08	47,85	1,81	0,551	5,077
7	3,35	21,60	51,77	2,51	0,398	4,262
8	3,75	29,37	57,34	2,88	0,347	4,274
9	19,14	43,01	69,97	2,72	0,367	1,930
10	3,42	5,50	12,26	1,56	0,639	1,825
11	4,87	11,88	56,55	1,91	0,524	2,319
12	3,15	15,58	34,40	1,75	0,571	3,685
13	1,98	12,27	35,50	1,63	0,615	4,241
14	1,85	19,08	47,85	1,81	0,551	1,825
15	3,35	21,60	51,77	2,51	0,398	4,262
16	3,75	29,37	57,34	2,88	0,347	4,274

Високе вриједности коефицијената неједнородности (U, Km и Kk) код појединих узорака (узорци 1 и 9) указују на присуство крупнозрнастог и слабо сортираног материјала, што је типично за сегменте корита са наглашеним падом, повећаном турбуленцијом и доминацијом вученог наноса. Ови резултати су у складу са морфолошким карактеристикама слива Луче, чији горњи и средњи токови имају изразито висок ерозивни потенцијал. Ако су вриједности коефицијента U у границама од 0 до 5 нанос је хомоген, у границама од 5 до 15, нанос је средње хомоген, а ако су вредности U преко 15, нанос је нехомоген (Поповић, Костадинов, 1987). С друге стране, узорци са нижим вриједностима U (узорци 5, 6, 13), као и умјереним индексима сортираности S и S_0, одражавају стабилније хидрауличке услове и присуство ситнијих фракција које доминирају у дионицама успореног тока. Таква гранулометријска структура типична је за проширене дионице корита у доњем дијелу слива и нарочито за

приобалне зоне непосредно изнад ушћа у Плавско језеро, гдје долази до прогресивног смиривања тока и постепеног таложења суспендованог материјала.

Коефицијент Kd, који одражава однос између екстремних фракција (крупне—средње величине), показује највеће вриједности код узорака 5, 6, 7, 8, 13, 15 и 16, што упућује на присуство изразито полидисперзног наноса. Овакве вриједности су карактеристичне за зоне гдје се комбинују различити режими транспорта: периодични нагли доток грубих делувијалних материјала са падина и континуирани унос финијих седимената из приобалних лежишта. То потврђује утицај интензивних ерозивних процеса које генеришу попречни профили и притоке унутар слива Луче.

Узорци земљишта за хемијску анализу узети су на 9 локација ријеке Луче на дужини од 2 km ушћа ријеке Луче у Плавско језеро. Подаци су дати у Табели 5.35.

Табела 5.35. Хемијска својства земљишта на обалама ријеке Луче

Параметар		pH вриједност		Укупни азот
		у (0,01 $CaCl_2$)	у H_2O	
Мјерна јединица				%
Метода		(SRPS ISO 10390:2007		Метода Kjeldahi
Ознака профила				
Долина ријеке Луче	Л1	8,8	6,6	1173
Долина ријеке Луче	Л2	8,5	6,8	505
Долина ријеке Луче	Л3	8,4	6,8	508
Долина ријеке Луче	Л4	7,9	6,7	1260
Долина ријеке Луче	Л5	8,0	6,9	1379
Долина ријеке Луче	Л6	7,8	6,7	389
Долина ријеке Луче	Л7	8,0	6,7	378
Долина ријеке Луче	Л8	8,2	6,8	1633
Долина ријеке Луче	Л9	7,8	6,8	399

Вриједности активне киселости (pH у H_2O) земљишта на обалама ријеке Луче (Табела 5.35.) крећу се у распону од 6,6 до 6,9 pH јединица. Према америчкој класификацији земљишта (USDA, 2017), гдје је неутрални до благо кисели pH у опсјегу 6,6–7,3, земљишта у сливу Луче спадају у категорију умјерено до јако алкалних (еутрична хумусно-силикатна и алувијална

земљишта). Слична класификација према FAO стандардима сврстава ова земљишта у групу алкалних до умјерено алкалних.

Разлика између pH мјереног у води и pH у раствору 0,01 M $CaCl_2$ (тзв. супституциона киселост) је важна, јер pH у $CaCl_2$ зависи од концентрације колоидних честица у земљишту и одражава концентрацију водоничних јона слабије везаних за колоидне површине земљишта. На узорцима из слива Луче, pH у $CaCl_2$ варира у распону од 7,8 до 8,8 потврђујући алкални карактер земљишта.

Укупни садржај азота је изузетно значајан параметар јер је азот у великом дијелу везан за хумусна и друга органска једињења земљишта. Како се повећава садржај хумуса, повећава се и садржај азота (Tanasijević et al., 1966). У седиментима на испитиваном подручју, укупне концентрације азота крећу се од 399 до 1633 mg/kg, што указује да су површински слојеви земљишта богати азотом, посебно у еутричним, хумусно-силикатним и алувијалним типовима земљишта. Код лесивираних и дистричних хумусно-силикатних земљишта уочава се релативно снижење концентрације азота, али нивои и даље указују на адекватну трофичку снабдјевеност овим елементом, у складу са раније утврђеним педолошким карактеристикама ових типова земљишта (Кнежевић, Кошанин, 2007).

Важно је напоменути да се азот у седименту лакше дифузно ослобађа, док се неорганski фосфор брже таложи и дуже задржава у седименту. У зависности од физичко-хемијских промјена између седимента и воде као што су температура, концентрација раствореног кисеоника, хидродинамички услови и биолошки процеси акумулирани нутријенти могу се из седимента ослободити у значајним количинама у површинску воду кроз порну воду. Ово утиче на динамичку улогу нутријената у екосистему, посебно азота и фосфора, који играју кључну улогу у биогеокемијским циклусима и квалитету воде (Shou et al., 2024).

5.2. Рекогносцирање терена у сливу Плавског језера до границе са Албанијом и идентификација хидролошких, геолошких и геоморфолошких карактеристика

Рекогносцирање терена представља систематско теренско испитивање слива ради прикупљања података о хидрографији, геологији, морфологији терена и другим физичко-географским карактеристикама. У случају Плавског језера, ово је кључно за разумијевање ерозионих процеса, транспорта наноса и управљање водним ресурсима у сливу који се протеже до границе са Албанијом. Теренско истраживање обухватило је цјелокупни слив Плавског језера до државне границе са Албанијом, као и слив Бијелог потока, који представља лијеву притоку ријеке Лим.

Циљ рекогносцирања био је утврђивање и верификација ерозионих коефицијената и рељефних параметара, као основе за прорачун продукције и проноса наноса. Теренским истраживањем идентификовани су изражени ерозиони процеси на већем дијелу слива, при чему су ријеке Луча, Врује, Дољa и Грнчар означене као најзначајнији уносиоци ерозионог материјала у Плавско језеро. Интензитет ерозионих процеса условљен је комбинацијом морфолошких, климатских и педолошких фактора, као и начином коришћења земљишта. Рељеф је изражено разуђен са великим нагибима терена и корита, док је хидрографска мрежа веома густа. Геолошка и педолошка подлога одликују се ниском отпорношћу на ерозију, што додатно убрзава деградацију земљишта. Сви водотокови који гравитирају ка ријеци Лучи имају бујични карактер, што погодује наглој мобилизацији ерозионог материјала током обилних падавина.

Теренска запажања указују на изразит антропогени утицај у сливу Плавског језера, који се рефлектује и на само језеро. Најзначајнији негативни антропогени фактори обухватају: неконтролисану сјечу шума, недовољно одржавање водотока, употребу ријечних токова као неконтролисаних депонија, испуштање нетретираних отпадних вода, као и деградацију пашњака прекомјерном експлоатацијом.

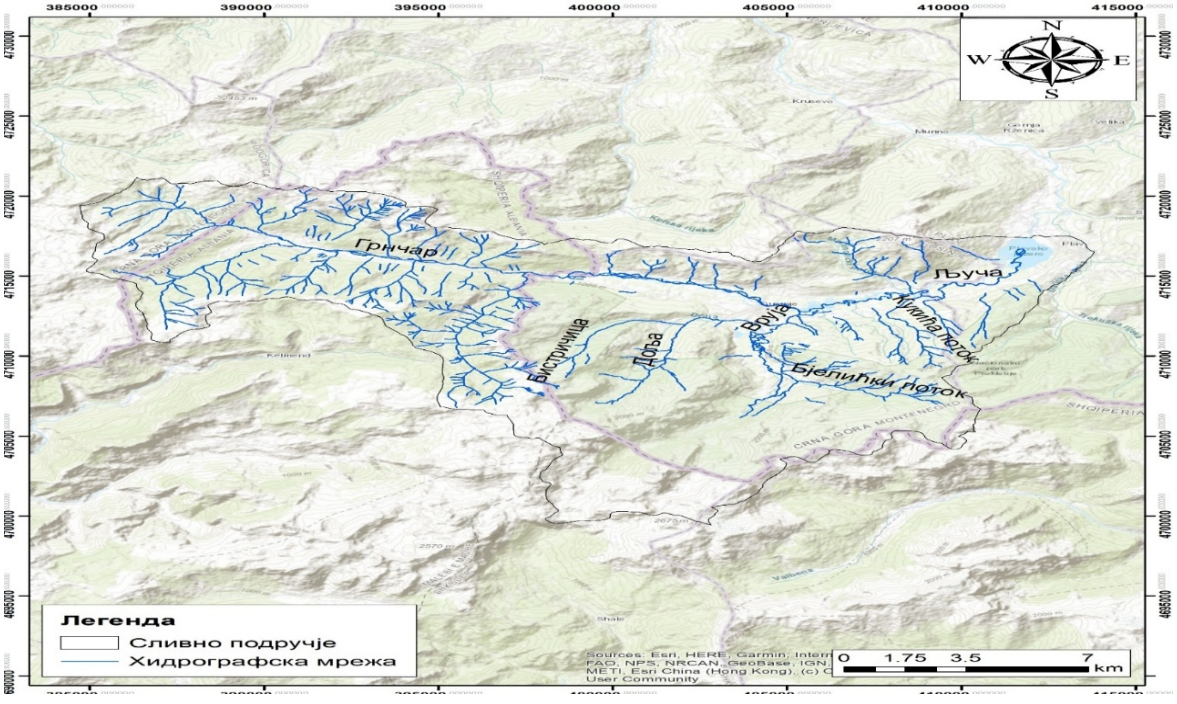
Значајне количине ерозионог наноса генеришу бујични сливови са падина планина Виситор, Липовица и Гребен, мада само ограничен дио тог материјала доспијева до ријеке Луче. Насупрот томе, са планине Бор транспортује се знатна количина ерозионог наноса, при чему се већи дио таложи у долинским зонама, док се мања количина суспендованих честица преноси до самог водотока.

Плавско-гусињска котлина морфолошки је формирана у условима доминације алувијалних, алувијално-делувијалних и делувијалних наноса, што је од значаја за моделирање ерозионо-хидролошких процеса и пројектовање мјера заштите.

Педолошке и геолошке карактеристике подлоге у сливу Плавског језера указују на ниску отпорност земљишта према ерозионим процесима, што доприноси интензивној деградацији земљишта. Поред природних услова, на простор слива Плавског језера, као и на само језеро, евидентан је снажан антропогени утицај.

Ријека Луча меандрира односећи велику количину пољопривредног земљишта у вријеме наиласка великих вода, тј. у вријеме поплава. У кориту ријеке Луче идентификована је латерална или бочна ерозија.

У кориту ријеке Луче, у доњем дијелу, таложи се ситнозрни и прашинасти материјал који доспијева и у Плавско језеро а у горњем крупнозрни материјал. Као посљедица доспијевања ситнозрног материјала у језеро, јавља се засутост језера у југозападном дијелу и формирања делте, која се постепено шири у правцу истека ријеке Лим из Плавског језера. Корито Мартинића потока је пуно отпада. У ријеци Лучи се транспортују велике количине наноса из Врује и Грнчара, при чему долазак нових количина материјала доводи до ремобилизације претходно акумулираног наноса, што омогућава његово стално кретање и постепено таложење у Плавском језеру. Бијели поток је типична бујица, која уноси велике количине еродираног материјала, при чему се корито ријеке Лим сужава и ствара успор који издиже ниво воде у језеру. Горњи дијелови и само корито Бијелог потока су са израженим процесима ерозије, пуни наноса које се транспортује до ријеке Лим и на обалу потока. Корито ријеке Грнчар има велику количину наноса и то шљунка и крупнозрних облутака. Дио Грнчара у близини са границом Албаније користи се за експлоатацију шљунка. Ријека нема сталног тока већим дијелом године, осим кроз Гусиње. Дио корита ријеке Грнчар је регулисан кроз Гусиње али се не одржава редовно при чему је евидентно на терену урушавање обала. Корито ријеке Доље има велику количину наноса који се транспортује од Бистричице. Овај дио слива Плавског језера има оскудну вегетацију и деградиране шуме. С обзиром да су евидентиране велике јаруге запажено је присуство велике количине наноса крупније гранулације (Прилози 5м и 5 н). Валушница, притока Доље готово да нема воду у горњем дијелу слива, а садржи велику количину наноса.



Слика 5.17. Слив Плавског језера (извор: аутор)

Потоци попут Радончића, Кукића, Сулејмановог, Вишњевског и Бијелог потока су бујице које долазе са планине Бор и таложе велику количину наноса у ријеку Лучу. Из Радончића потока се вади ерозиони материјал који је највише забиљежен у кориту потока. Слив чини највећим дијелом шумска вегетација, затим ливаде и то у доњем дијелу потока. У Кукића потоку забиљежена је густа шумска вегетација и присуство наноса са крупном гранулацијом. Изражена је браздаста ерозија у средишњем и горњем дијелу слива и површинска ерозија у дијелу слива који је под деградираним шумама. Вишњевски поток садржи велики количину ерозионог наноса у средњем и доњем току, нагиби терена су велики а присутна је и велика количина отпада из домаћинства.

5.3. Педолошке карактеристике терена

Као основне подлоге за анализу педолшких карактеристика посматраног подручја коришћене су педолошка карта СФРЈ „Цетиње 1“, у размјери 1:50.000 (Титоград, 1988, Пољопривредни институт; аутори: Грујица Ђуретић, дипл. инж.; Михаило Ђуретић, дипл. инж.; Будимир Фуштић, дипл. инж.; Петар Челебић, дипл. инж.).

Педолошка структура слива Плавског језера одликује се значајном разноврсношћу типова земљишта, што је условљено сложеним геолошким саставом, израженим рељефом и различитим хидролошким условима унутар сливног подручја (Слика 5.18, Табела 5.36). Педолошка карта слива Плавског језера приказује просторну расподјелу различитих типова земљишта који су формирани под утицајем геолошке подлоге, рељефа, климе и хидролошких услова. На основу анализе педолошке карте и просторне расподјеле земљишта утврђено је да се у сливу јавља више типова земљишта различитих генетских и морфолошких карактеристика.

Највећи дио сливног подручја покривају смеђа земљишта на карбонатно-силикатној подлози, која заузимају 1,68 km² односно 54% укупне површине слива. Ова земљишта су углавном распрострањена у средишњем дијелу слива и у зони шумске вегетације, те имају релативно стабилну структуру и повољне физичко-хемијске особине. Значајно учешће имају и врло слабо развијена земљишта на меким кречњацима, која заузимају 0,60 km² или 19% површине. Ова земљишта се јављају у вишим планинским дијеловима слива, нарочито на падинама планине Виситор и околних планинских масива, гдје се одликују плитким профилом и повећаном осјетљивошћу на ерозионе процесе.

У структури земљишног покривача присутна су и смеђа земљишта на шљунку, која заузимају 0,27 km² или 9% укупне површине, и углавном су формирана у нижим дијеловима слива и у зонама ријечних наноса. Мање површине заузимају смеђа еродирана земљишта на тврдим карбонатима (0,08 km² или 12%), као и рендзине на карбонатима и смеђа кисјела земљишта на пјешчарима, која појединачно учествују са по 3% укупне површине.

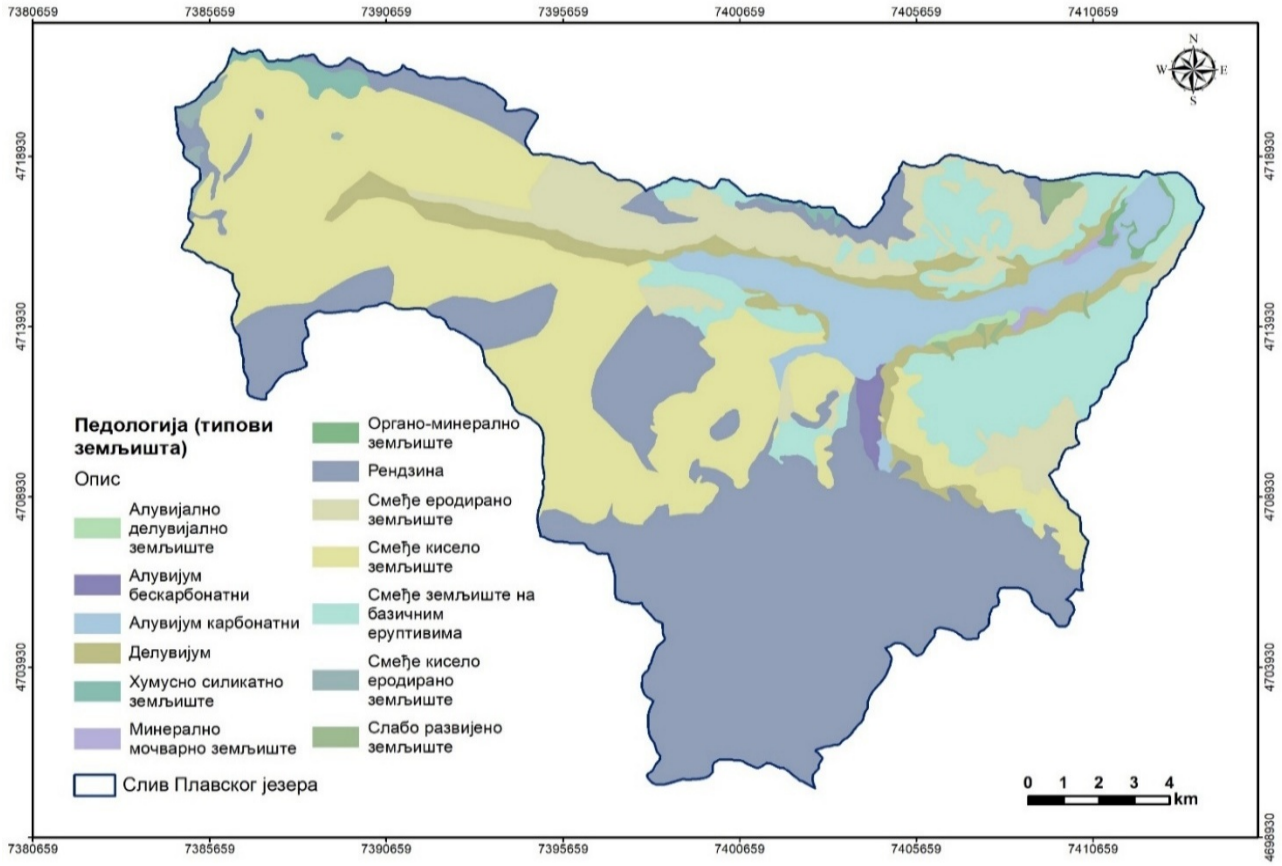
У долинским дијеловима водотокова, посебно дуж ријека Луче, Врује и Грнчара, распрострањена су алувијална и делувијална земљишта настала таложењем ријечног наноса. Ова земљишта карактерише већа влажност, присуство подземних вода и повремена плављења, што условљава специфичне услове за развој вегетације и појаву мочварних станишта у појединим дијеловима Плавско-гусињске котлине. У планинским дијеловима преовладавају плитка и слабо развијена земљишта, док се у нижим дијеловима и у долинама водотокова јављају дубља и плоднија алувијална и делувијална земљишта. Оваква педолошка структура има значајан утицај на хидролошке процесе, инфилтрацију воде, као и на интензитет ерозије и транспорт наноса који се акумулира у Плавском језеру.

У горњем дијелу слива, под планином Виситор заступљено је слабо развијено земљиште на меким кречњацима, плитко смеђе еродирано земљиште на тврдим карбонатима, а при врху планине врло плитка рендзина на карбонатима. Пошто је средишњи дио слива под шумом у том дијелу је присутно смеђе земљиште на карбонатној силикатној подлози, а у нижим дијеловима смеђе земљиште на подлози од шљунка.

На подручју Виситора, доминира делувијум карбонатно посмеђени, смеђе земљиште на карбонатој силикатној подлози, плитко шумско земљиште, шумско смеђе земљиште на базичним еруптивима, врло слабо развијено земљиште на меканим кречњацима, плитка рендзина на једрим кречњацима, ранкер на пјешчарима. С обзиром да се при високим водостајима поткопавају обале Грнчара, у његовом кориту могуће је пронаћи стерилни шљунак и пијесак који су обрасли јовом и врбом (Burić et al., 2017). Минерално мочварно карбонатно земљиште заступљено је у подручју Малог блата, у насељу Вишњево, у зони долине Вишњевског потока. Ова врста земљишта настаје гдје је слој подземене воде на малој дубини око 80 cm.

У сливу рјечице Доље, на прелазу у брдовити терен, заступљен је алувијално-делувијални карбонатно-иловасти нанос, као и рендзине на кречњацима. Ова земљишта се одликују

високим садржајем хумуса, који се у зависности од микролокалитета креће у распону од око 6 до 30%. Делувијуми су бројни а бујични потоци су их у виду лепеза одложили. Често се алувијуми и делувијуми смјењују. На положају истицања Лима из Плавског језера су чеоне морене и старе рјечне терасе Лима. На моренском и глациофлувијалном наносу присутно је смеђе еутрично земљиште, дубине од 50 до 80 cm, које је добрих физичких и хемијских особина. Уз иловаста алувијална земљишта Врује и Луче ово су најплоднија земљишта Горњег Полимља. Делувијум карбонатно посмеђени присутан је у уском појасу на најнижем дијелу падине планина Тројан и Бор уз долине Бјелићког потока. На простору Малог блата које је у непосредној близини Плаваског језера заступљено је органо минерално-глејнокарбонатно земљиште. У најнижим дијеловима Сулејмановог и Радончића потока (Прилог 5 и), код Крушева има врло слабог развијеног земљишта на шљунку.



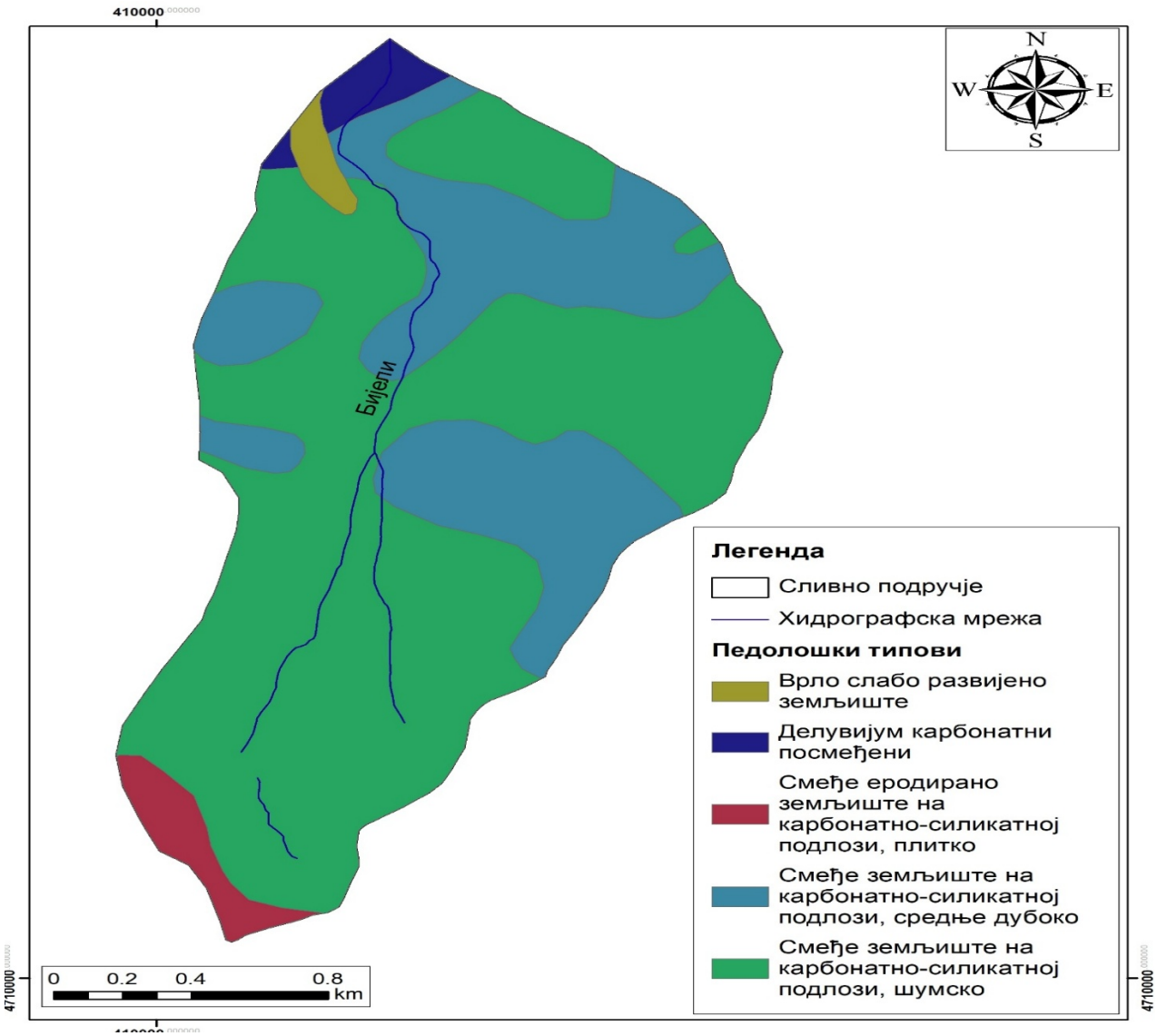
Слика 5.18. Педолошка карта слива Плавског језера и Бијелог потока (извор: аутор)

Табела 5.36. Присутност типова земљишта на сливном подручју Плавског језера

Тип земљишта	Површина km²	Удио (%)
Рендзина на карбонатима, врло плитка	0,09	3
Смеђе еродирано на тврдим карбонатима, плитко	0,08	12
Смеђе кисјело на пјешчарима	0,08	3
Смеђе земљиште на карбонатно-силикатној подлози	1,68	54
Смеђе земљиште на шљунку	0,27	9
Врло слабо развијено земљиште на меким кречњацима	0,60	19
Укупно	3,09	100,00

Табела 5.37. Заступљеност типова земљишта у сливу Бијелог потока

Педолошки типови	km^2	%
Делувијум карбонатни посмеђени	0,08	1,94
Смеђе еродирано земљиште на карбонатно-силикатној подлози, плитко	0,11	2,79
Смеђе земљиште на карбонатно-силикатној подлози, средње дубоко	1,13	27,84
Смеђе земљиште на карбонатно-силикатној подлози, шумско	2,70	66,29
Врло слабо развијено земљиште	0,05	1,14
Укупно	4,07	100,00



Слика 5.19. Педолошка карта слива Бијелог потока (извор: аутор)

У сливу Бијелог потока заступљено је више типова земљишта различитих генетских и морфолошких карактеристика. Највећи дио сливног подручја покрива шумско смеђе земљиште на карбонатно-силикатној подлози, које заузима 2,70 km² односно 66,29% укупне површине слива. Ова земљишта су распрострањена у већем дијелу слива, посебно у средишњим и доњим дијеловима, гдје се развијају под шумском вегетацијом.

Значајно учешће има и средње дубоко смеђе земљиште на карбонатно-силикатној подлози које покрива 1,13 km² или 27,84% површине. Ова земљишта се углавном јављају у централном дијелу слива, дуж долине Бијелог потока и његових притока. Мање површине заузимају плитко смеђе еродирано земљиште на карбонатно-силикатној подлози (0,11 km² или 2,79%), као и делувијум карбонатно посмеђени (0,08 km² или 1,94%), који се јавља у горњем дијелу слива. Врло слабо развијено земљиште заступљено је на највишим и стрмијим дијеловима

терена и заузима 0,05 km² или 1,14% површине. Оваква педолошка структура има значајан утицај на инфилтрацију воде, површинско отицање и интензитет ерозионих процеса у сливу Бијелог потока.

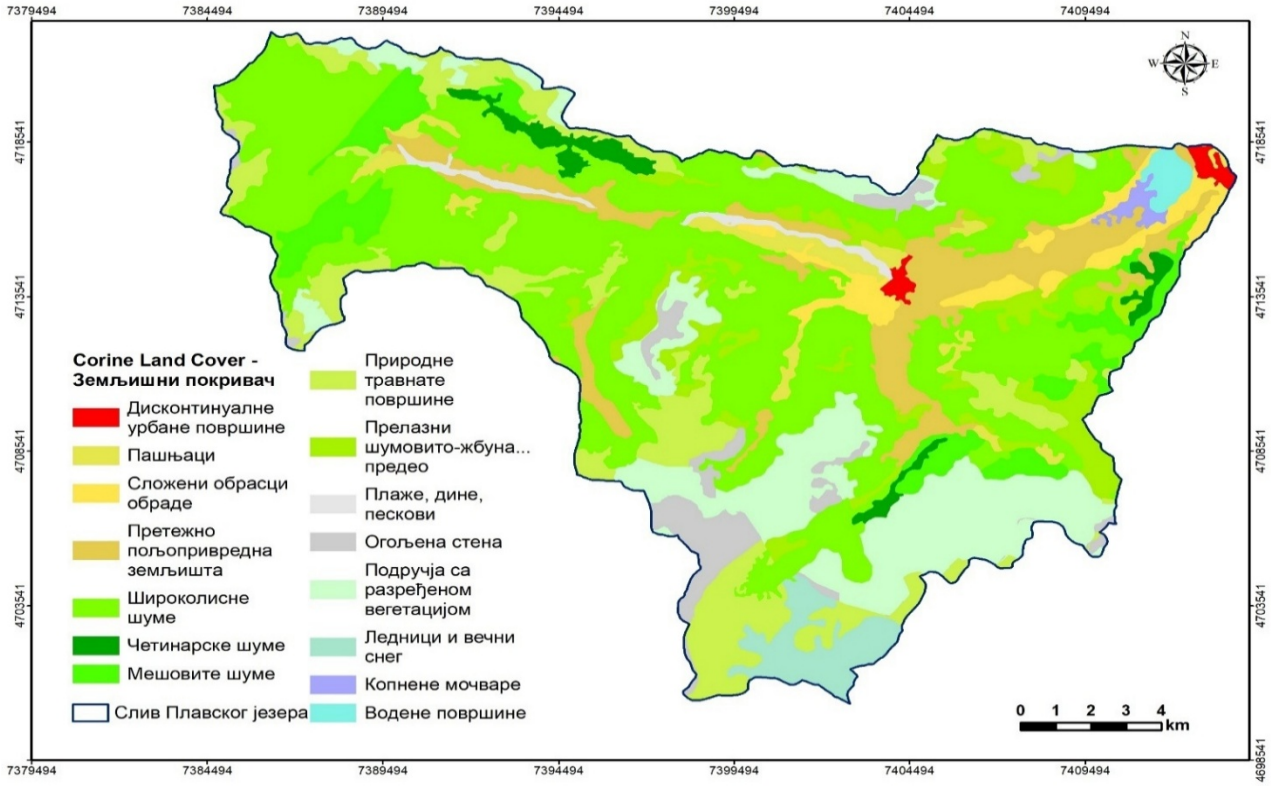
5.4. Анализа начина коришћења земљишта

Слив Плавског језера нема изражен индустријски притисак, али око 9.000 становника општине Плав (Monstat, 2024), углавном руралног карактера, својим активностима (пољопривреда, испаша, сјеча шума и изградња објеката) значајно утичу на начин коришћења земљишта. Анализа коришћења земљишта на предметном подручју извршена је детерминацијом класа из базе података CORINE (Coordination of Information on the Environment) Land Cover (CLC) за 2018. годину. CLC база података је јавно доступна у растерском и векторском облику и погодна је за обраду и картографски приказ у ГИС програмима. Основни циљ CLC базе је обезбјеђивање систематизованог прегледа карактеристика Земљине површине, прије свега ради адекватног управљања животном средином и планирања коришћења простора (Heymann et al., 1994; Kilibarda et al., 2010). Анализа начина коришћења земљишта (Слика 5.20, Табела 5.38) у сливу Плавског језера показује изразиту просторну разноврсност и јаку повезаност природних услова са антропогеним активностима. На основу CORINE Land Cover класификације доминирају шумски и природни екосистеми, што указује на претежно планински карактер слива и ограничен интензитет пољопривредне и урбане трансформације простора. Највећи удио у структури земљишног покривача имају листопадне шуме које заузимају 123,68 km², односно 40,1% укупне површине слива. Поред њих, значајно су заступљене и мјешовите шуме са 16,26 km² (5,3%) и четинарске шуме са 5,72 km² (1,9%). Укупно посматрано, шумски екосистеми представљају доминантан елемент предјела и имају кључну улогу у регулацији хидролошког режима, заштити земљишта од ерозије, стабилизацији падина и очувању биодиверзитета. Међутим, прелазно шибље и деградиране шуме заузимају чак 19,16 km² (6,2%), што указује на изражен антропогени утицај кроз сјечу шума, испашу и деградационе процесе који доводе до фрагментације шумских комплекса и слабљења њихових еколошких функција. Значајан дио простора чине природни травњаци са 34,38 km² (11,1%) и пашњаци са 6,84 km² (2,2%). Ове категорије указују на традиционалну сточарску оријентацију локалног становништва и дуготрајно коришћење високопланинских подручја за испашу. У појединим зонама прекомјерна испаша доводи до деградације травног покривача и повећане осјетљивости земљишта на ерозивне процесе. Пољопривредне површине су релативно ограничене. Комплексни обрасци обраде земљишта заузимају 9,05 km² (2,9%), док пољопривредно земљиште са значајним површинама природне вегетације обухвата 25,82 km² (8,4%). Оваква

структура показује да се пољопривредна производња углавном одвија у мозаичном облику, у комбинацији са природном вегетацијом, што је условљено израженим нагибима, плитким земљиштима и ограниченим равничарским површинама. Слабо обрасле површине заузимају 40,66 km² (13,2%), док голе стијене обухватају 11,41 km² (3,7%). Ове категорије су углавном концентрисане у високопланинским дијеловима Проклетија и представљају подручја интензивних геоморфолошких процеса, слабе педогенезе и изражене ерозије. Плаже, дине и пијесак заузимају 2,63 km² (0,9%), док глечери и вјечити снијег обухватају 7,98 km² (2,6%), што додатно потврђује високопланински карактер слива. Урбане површине су слабо заступљене. Ријетко изграђено урбано ткиво заузима свега 1,69 km² (0,5%), што указује на релативно низак степен урбанизације и концентрацију насеља у нижим дијеловима слива и приобаљу језера. Копнене мочваре захватају 1,28 km² (0,4%), док водене површине, укључујући Плавско језеро и ријечну мрежу, обухватају 1,97 km² (0,6%) укупне површине слива. Укупна структура начина коришћења земљишта показује да слив Плавског језера има претежно природни и шумско-планински карактер, са ограниченим пољопривредним и урбаним површинама. Истовремено, значајно учешће деградираних и слабо обраслих површина указује на присуство интензивних ерозионих процеса и потребу за спровођењем мјера одрживог управљања земљиштем и заштите екосистема.

Табела 5.38. Начин коришћења земљишта у сливу Плавског језера

Начин коришћења простора	Површина (km²)	%
Ријетко изграђено урбано ткиво	1,69	0,50
Пашњаци	6,84	2,20
Комплексни обрасци обраде земљишта	9,05	2,90
Пољопривредно земљиште са значајним површинама природне вегетације	25,82	8,40
Листопадне шуме	123,68	40,10
Четинарске шуме	5,72	1,90
Мјешовите шуме	16,26	5,30
Природни травњаци	34,38	11,10
Прелазно шибље и деградиране шуме	19,16	6,20
Плаже, дине и пијесак	2,63	0,90
Голе стијене	11,41	3,70
Слабо обрасле површине	40,66	13,20
Глечери и вјечити снијег	7,98	2,60
Копнене мочваре	1,28	0,40
Водене површине	1,97	0,60
Укупно	308,54	100,00



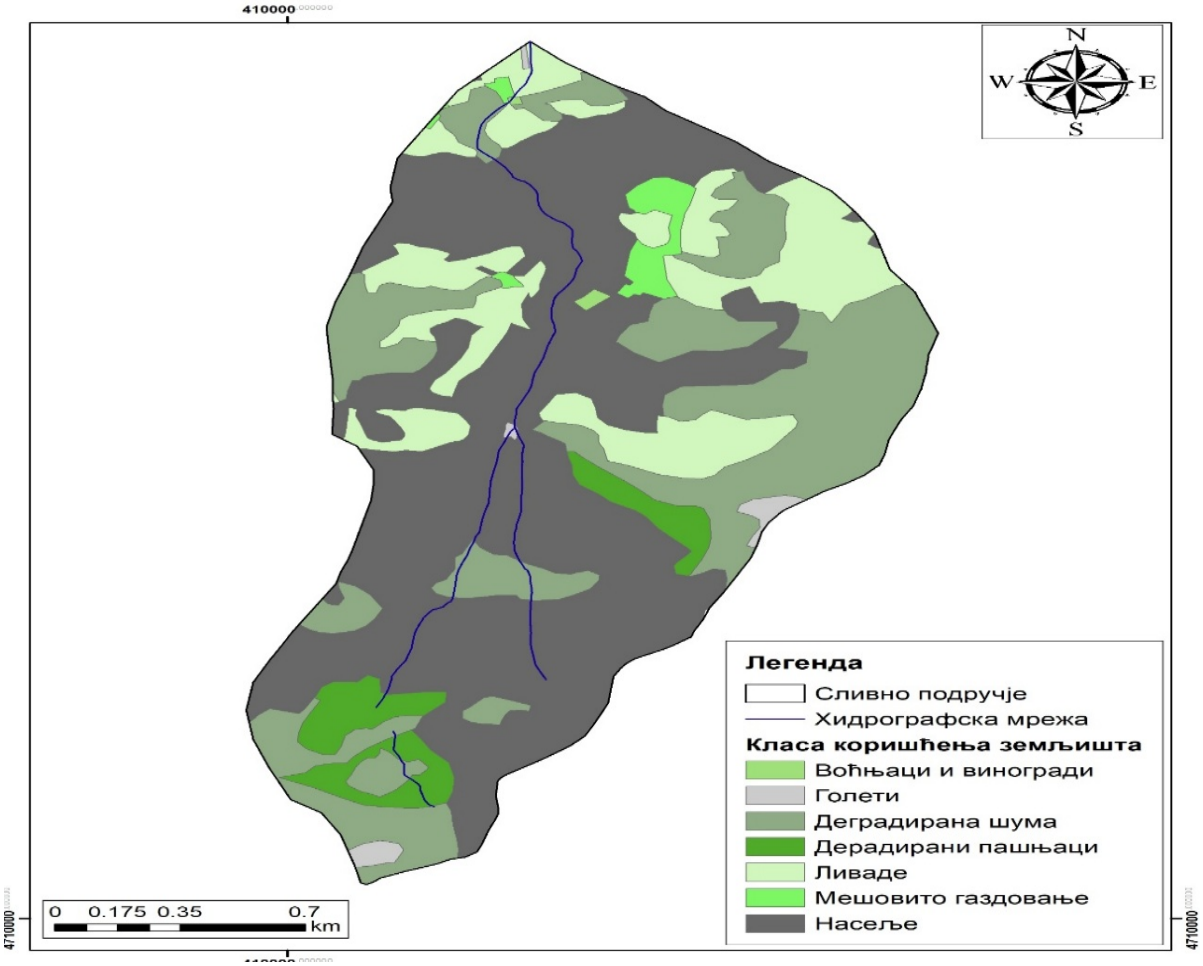
Слика 5.20. Карта начина коришћења земљишта у сливу Плавског језера (извор: аутор)

Табела 5.39. Начин коришћења земљишта у сливу Бијелог потока

Коришћење		
Назив	km^2	%
Насеље	2,03	49,95
Воћњаци и виногради	0,01	0,14
Ливаде	0,63	15,54
Деградирана шума	1,10	26,97
Мјешовито газдовање	0,07	1,68
Дерадирани пашњаци	0,20	4,93
Голети	0,03	0,80
Укупно	4,07	100,00

Према приказаној картографској анализи (Слика 5.21, Табела 5.39), у сливу Бијелог потока доминирају насеља која заузимају 49,95% површине, што указује на изражен антропогени утицај. Ливаде обухватају 15,54 % и имају значајну улогу у агроекосистему, док деградиране шуме заузимају 26,97 % површине и указују на присутне процесе деградације. Деградирани пашњаци заузимају 4,93%, као посљедица интензивне испаше, док мјешовито газдовање обухвата 1,68% површине. Воћњаци и виногради су слабо заступљени (0,14%), а голети

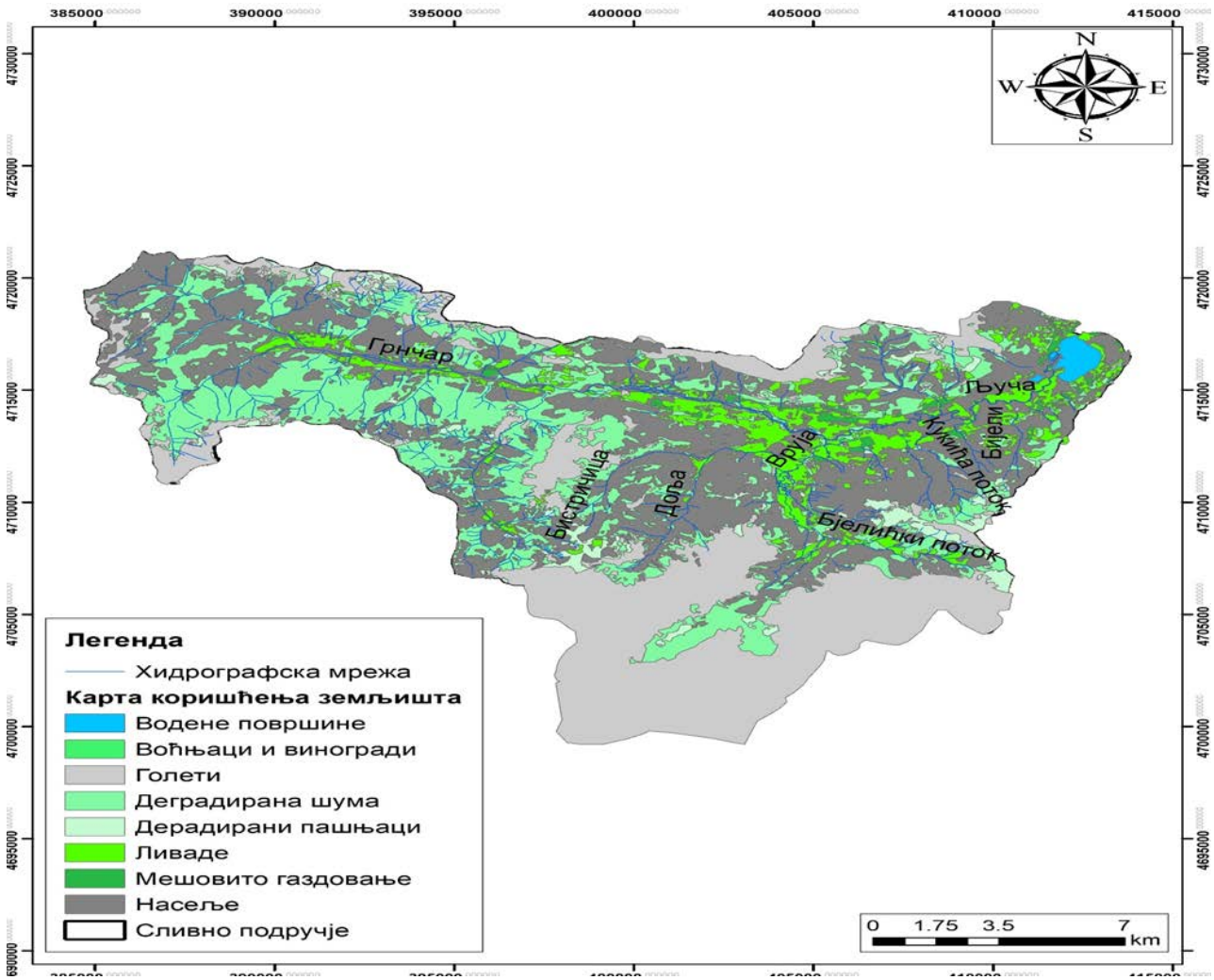
заузимају 0,80% и одликују се повећаном осјетљивошћу на ерозију усљед недостатка вегетације.



Слика 5.21. Карта начина коришћења земљишта у сливу Бијелог потока (извор: аутор)

Табела 5.40. Начин коришћења земљишта за притоке Дољу, Бистричицу, Кукића, Радончића, Сулејман-Сејтов и Вишњевски поток

Класа начина коришћења	km²	%
Деградирана шума	80,80	25,21
Дерадирани пашњаци	10,90	3,40
Голети	90,52	28,24
Ливаде	24,63	7,69
Мјешовито газдовање	2,98	0,93
Насеље	107,49	33,54
Воћњаци и виногради	0,80	0,25
Водене површине	2,37	0,74
Укупно	320,48	100,00



Слика 5.22. Карта начина коришћења земљишта за притоке Луче: Дољу, Бистричицу, Кукића, Радончића, Сулејман-Сејтов и Вишњевски поток

Према резултатима анализе (Слика 5.22, Табела 5.40) начина коришћења земљишта у сливовима притока Доље, Бистричице, Кукића, Радончића, Сулејман-Сејтовог и Вишњевског потока, доминантну категорију представљају насеља која заузимају 107,49 km², односно 33,54 % укупне површине анализираног простора. Овако висок проценат указује на значајно присуство антропогеног утицаја. Голети заузимају 90,52 km² (28,24%) и због недостатка вегетације веома су подложне ерозији. Деградирани пашњаци обухватају 10,90 km² (3,40%) и настале су као посљедица интензивне испаше, што је узроковало смањење травног покривача и продуктивности земљишта.

Ливаде чине 24,63 km² или 7,69% површине и представљају важну компоненту агроекосистема. Деградирани пашњаци заузимају 10,90 km² или 3,40 % површине. Мјешовито газдовање заузима 2,98 km² (0,93%). Воћњаци и виногради имају врло мало учешће у

структури земљишног покривача и заузимају 0,80 km² или 0,25% површине, што указује да је овај вид пољопривредне производње слабо заступљен у посматраном подручју. Водене површине заузимају 2,37 km² или 0,74% укупне површине.

5.5. Анализа квалитета воде и седимената у сливу Плавског језера

Садржај тешких метала у води ријеке Ључе приказан је у Табели 5.41. Од девет испитиваних метала највише су заступљени, Ni и As док су се концентрације Cd, Cu, Hg, Zn, Pb, Fe биле испод референтних вриједности. Утврђено је да су хемијски елементи присутни у сљедећем редосљеду: Ni>As> Zn> Cu Fe>Pb>Cd>Hg. Концентрације никла кретале су се у распону од 0,24 до 0,98 μg/l. Никал је поређењем добијених вриједности са Уредбом о опасним и штетним материјама у водама (2007, Босна и Херцеговина, 15-30 μg/l) испод дозвољене вриједности али и вриједности које прописује црногорски правилник о начину и роковима утврђивања статуса површинских вода (34 μg/L). Широко је распострањен у води, ваздуху и земљишту. Иако је свеприсутан у животној средини његова функционална улога као елемента у траговима за животиње и људе још увијек није позната. Арсен је познат као опасан тешки метал, трајни загађивач животне средине, који изазива озбиљне еколошке, здравствене и пољопривредне проблеме и представља ризик по људе. Хронична изложеност арсену препозната је као глобални проблем. Највећа концентрација As забиљежена је у узорку 9, на удаљености од приближно 1 km од ушћа ријеке Ључе у Плавско језеро, и износила је 0,95 μg/L. Вриједности концентрације As пратиле су сљедећи тренд: локација Л1 (< 0,20 μg/L), Л2 (0,25 μg/L), Л3 (0,23 μg/L), Л4 (0,24 μg/L), Л5 (0,24 μg/L), Л6 (0,23 μg/L), Л7 (0,95 μg/L), Л8 (0,68 μg/L) и Л9 (0,23 μg/L). Све измјерене концентрације биле су испод максимално дозвољених вриједности дефинисаних Правилником о квалитету воде Црне Горе и Уредбом о опасним и штетним материјама у водама (Босна и Херцеговина, 2007). Пронађене вриједности Hg, Zn, Cu, Cd, Fe, Pb биле су испод максимално дозвољених концентрација према националном и страном законодавству.

Табела 5.41. Концентрација тешких метала у узорцима воде ријеке Луче, Црна Гора

Метали	Локације узорковања									Допуштене концентрације о опасним и штетним материјама у водама
	Л1	Л2	Л3	Л4	Л5	Л6	Л7	Л8	Л9	
As	<0,2	0,25	0,22	0,23	0,24	0,23	0,95	0,68	0,23	50
Hg	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,02
Cd	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,5
Cu	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	2-10
Zn	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	50-80
Pb	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	2
Fe	<025	<025	<025	<025	<025	<025	<025	<025	<025	100
Ni	0,800	0,24	0,31	0,38	0,38	0,31	0,98	0,68	0,33	15-30

Опадајући низ концентрација метала у седименту је: Fe>Ni >Zn>Cu>Pb>As>Hg > Cd. На свих девет локација највише вриједности акумулације забиљежене су за гвожђе, никал и арсен. Концентрације никла (87-119) у седименту на свих девет испитиваних локација ријеке Луче (Табела 5.42) прешле су циљане и максимално дозовљене вриједности (ГВЗМ) прописане важећим правилником о граничним вриједностима загађујућих материја у површинским и подземним водама и седименту. Вриједности за арсен нису прешле референтне и инвертне вриједности по холандској методологији, али су премашиле PEL (Probable Effect Level) вриједности према канадским смјерницама за квалитет седимента (Canadian Sediment Quality Guidelines – CCME) у узорцима узетим на удаљености од ушћа ријеке Луче у Плавско језеро од 300 m до 2 km, односно у узорцима Л2, Л3, Л4, Л5, Л6, Л7 и Л9. У односу на ICPDR (The International Commission for the Protection of the Danube River) концентрације пронађене у свих девет узорака биле су ниже. Према Уредби (ГВЗМ) концентрације арсена су испод дозвољених граница. Садржај гвожђа премашио је PEL вриједности према канадским смјерницама (CCME), као и максимално дозвољене концентрације прописане као и максимално дозвољене концентрације прописане Уредбом (ГВЗМ). Концентрације за кадмијум, живу, олово нијесу прешле референтне вриједности процјене холандске методологије и мање су од нижих

вриједности канадске препоруке, од циљаних вриједности ICPDR као и од (ГВЗМ- према Службени гласник РС“, бр. 50/2012).

Табела 5.42. Концентрација тешких метала у узорцима седимената ријеке Луче, Гусиње

Метали	Локације узорковања								
	Л 1	Л 2	LЛ 3	Л 4	Л 5	Л 6	Л 7	Л 8	Л 9
As	<0,2	3,3	3,8	3,8	3,3	3,7	3,7	0,26	3,6
Hg	0,080	0,063	0,078	0,080	0,068	0,080	0,080	0,10	0,071
Cd	<0,2	<0,2	0,21	<0,2	<0,2	0,22	<0,2	0,26	0,20
Cu	22	19	21	21	17	22	16	26	16
Zn	41	45	45	47	42	47	42	56	45
Pb	7,1	6,4	7,6	7,2	6,5	7,9	6,7	9,6	6,4
Fe	25062	27622	23816	25430	23231	24237	22641	30086	27341
Ni	95	93	96	98	91	100	87	117	90

Концентрације бакра (16–26 mg/kg) и цинка (41–56 mg/kg) нијесу дефинисане граничним вриједностима према канадским (CCME) ни холандским смјерницама, али су биле ниже од максимално дозвољених концентрација прописаних Уредбом (Службени гласник РС“, бр. 50/2012).

5.6. Хидролошке анализе

Хидролошке анализе омогућавају прецизно утврђивање максималних протицаја и транспортних токова наноса који директно угрожавају морфологију и водни капацитет Плавског језера. На основу резултата хидролошких прорачуна могу се идентификовати критична ерозиона подручја и приоритетне локације за интервенције, што обезбјеђује ефикасну и одрживу заштиту слива (Chow et al., 1988). Разумијевање динамике отицаја и ерозије је кључно за планирање интегралних мјера против ерозије, минимизирање уноса наносног материјала у језеро и очување екосистема Плавског језера.

Израда хидрограма великих вода служи за квантитативну процјену максималних протока, трајања високих вода и укупног волумена воде, што омогућава процјену ерозионог потенцијала и транспорта наноса у сливу. Ови подаци представљају основу за пројектовање

хидротехничких и биотехничких мјера заштите, калибрацију модела слива и планирање интервенција, чиме се обезбјеђује ефикасна противерозиона заштита Плавског језера и околних насеља.

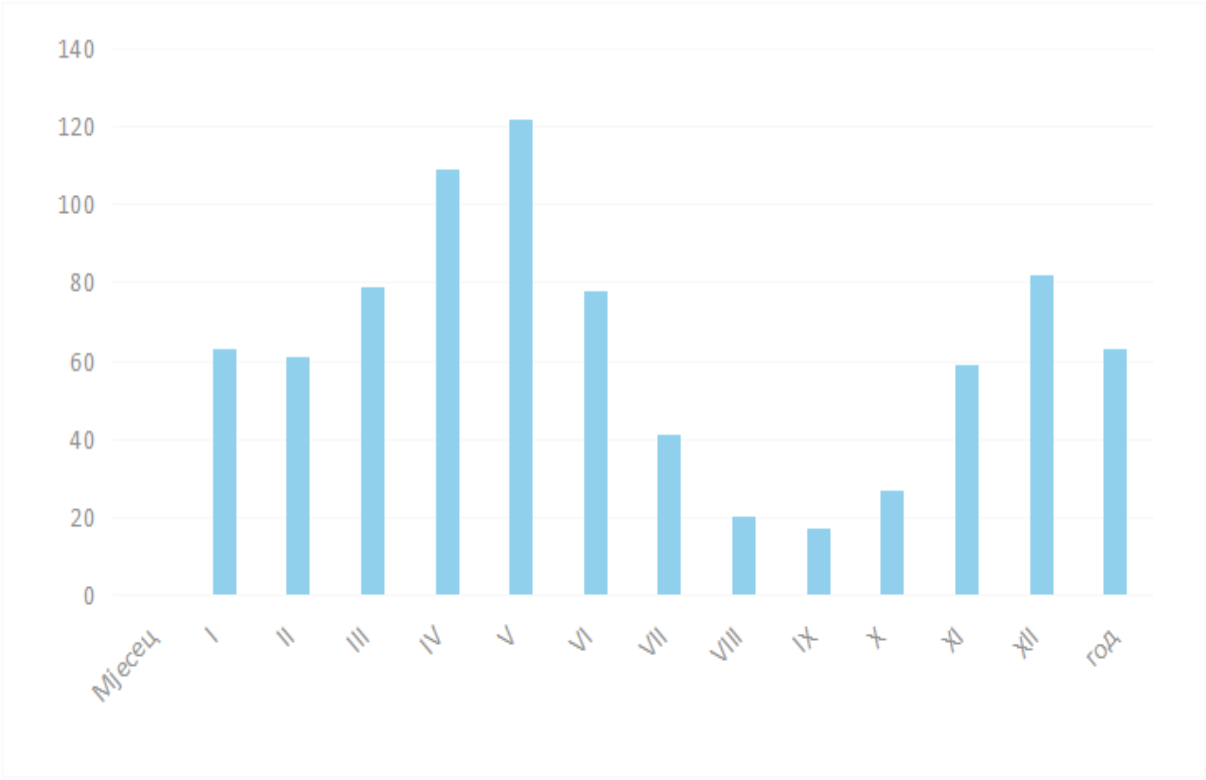
Хидролошка анализа обухватила је ријеку Лим. Протицај и ниво воде ријеке Лим осматра се на хидролошкој станици Плав. Хидролошка станица Плав, тип осматрачка, почела је са радом 1962. године. Станица је смјештена на коти 531,61 km, удаљена 111,2 km од ушћа и ради као аутоматска станица. Припада сливу ријеке Дрине. Ријека Лим на излазу из Плавског језера показује изразито двомодалан режим протицаја, условљен комбинацијом снијежног и кишног режима исхране.

На основу података са слике (Слика 5.23), највећа водност се јавља у пролећном периоду (април–јун), са апсолутним максимумом у мају када средњи максимални протицај износи 41,3 m^3/s. Просјечан средњегодишњи протицај износи 19,31 m^3/s. Други, секундарни максимум забиљежен је у јесењем периоду (новембар–децембар), док се најнижи протицаји јављају у августу и септембру.

Графички приказ средњег мјесечног нивоа воде показује јасне сезонске осцилације. Током зимских мјесеци (јануар–март) нивои воде се крећу око 907,1–907,2 m n. m, што је посљедица акумулације снијега у сливу и мањег доприноса кишних падавина. Са почетком пролећног периода долази до наглог пораста нивоа воде, па се у априлу достиже око 907,45 m n. m., а у мају се региструје апсолутни максимум од приближно 907,6 m n. m. Висок водостај задржава се и у јуну, након чега почиње постепено опадање. Током љета (јул–септембар) ниво воде се снижава, са најнижом вриједношћу у августу и септембру (907,05 m. n.m), што је условљено високим температурама, интензивним испаравањем и мањим количинама падавина. Са доласком јесени (октобар–децембар) ниво воде поново расте, те се у новембру и децембру јавља секундарни максимум (око 907,3 m n. m.) као посљедица јесењих киша. Амплитуда колебања средњих мјесечних нивоа воде износи приближно 0,55 m, што указује на релативно стабилан водни режим. Ову стабилност обезбјеђује Плавско језеро које дјелује као природни регулатор и ублажава нагле осцилације протицаја.



Слика 5.23. Вишегодишњи просјечни мјесечни протицаји и средњи годишњи протицај на хидролошкој станици Плав 1948–2023. године (извор: аутор)



Слика 5.24. Вишегодишњи просјечни мјесечни водостаји на хидролошкој станици Плав 1948–2023. године, (извор: аутор)

Хистограм максималних годишњих протицаја ријеке Лим (Слика 5.25) на мјерној станици Плав за период од 1948. до 2023. године, изражених у m³/s, показује значајну варијабилност. Примјећују се појединачни екстремни врхови, као што су 1950., 1979., 1995. и 1998. година, који значајно премашују просјечне вриједности, указујући на појаву поплава или изузетно обилних падавина. Највећи регистровани проток у посматраном периоду износи приближно 330 m³/s, забиљежен 1979. године. Остали значајни протицаји током краја 1990-их и почетка 2000-их могу се довести у везу са сезонским поплавама или екстремним климатским догађајима.

Анализа не указује на постојање јасног линеарног тренда повећања или смањења максималних годишњих протока током посматраног периода, али се повремено јављају групе година са релативно високим протоцима, нарочито крајем 1970-их и 1990-их. Већина година има максималне протоке испод 150–200 m³/s, док екстремни врхови значајно премашују ове вриједности, што указује на ријетке, али хидрометеоролошки значајне догађаје. Ови резултати имају импликације за планирање заштите од поплава, регулацију водотока и пројектовање инфраструктуре, као и за процјену фреквенције и вјероватноће поплавних догађаја у хидролошким студијама.



Слика 5.25. Серија максималних годишњих протицаја ријеке Лим на профилу ХС Плав на ријеци Лим 1948-2023. године, (извор: аутор)

6. Анализа ерозионих процеса у сливу Плавског језера применом МПЕ

На анализу ерозионих процеса у сливу Плавског језера утичу: геоморфолошке карактеристике слива, педолошке особине, климатске карактеристике, вегетациони покривач, начин коришћења земљишта.

6.1. Ерозиона продукција

Анализа ерозионих процеса у сливу Плавског језера садржи два кључна сегмента и то: ерозионе процесе на великим површинама и флувијалну ерозију која је доминантна дуж рјечних корита. У Табели 6.1 приказана је заступљеност категорија ерозије у сливу Плавског језера и Бијелог потока, према класификацији С. Гавриловића (Метода потенцијала ерозије), са одговарајућим коефицијентима ерозије Z.

Табела 6.1. Заступљеност категорија ерозије у сливу Плавског језера и Бијелог потока (извор: аутор)

Слив	P (km²)	Категорија ерозије										Z
		I		II		III		IV		V		
		km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	
Плавско језеро	308,82	8,50	2,76	73,56	23,85	0,72	0,23	76,96	24,95	148,75	48,22	0,36
Луча	302,56	8,44	2,79	73,55	24,34	0,65	0,21	76,40	25,28	143,18	47,38	0,36
Грнчар	139,45	5,03	3,61	14,31	10,27	0,23	0,17	51,68	37,10	68,06	48,85	0,28
Врућа	115,95	9,08	5,83	66,14	42,45	8,08	5,18	24,58	15,77	47,94	30,77	0,55
Бијели поток	4,00	0,01	0,32	0,02	0,50	0,00	0,09	1,08	26,53	2,95	72,56	0,10

Укупна површина слива Плавског језера износи 308,82 km². У структури ерозије доминира V категорија са 148,75 km² (48,22%), што указује да на највећем дијелу слива преовлађују веома слаби ерозиони процеси. Значајно учешће има и IV категорија (76,96 km², 24,95%), која представља слабу ерозију. Друга категорија заузима 73,56 km² (23,85%), док је I категорија ерозије– ексцесивна заступљена на 8,50 km² (2,76%) и представља жаришта интензивног разарања земљишта и повећане продукције наноса. Трећа категорија (средња) обухвата 0,72 km² (0,23%) површине.

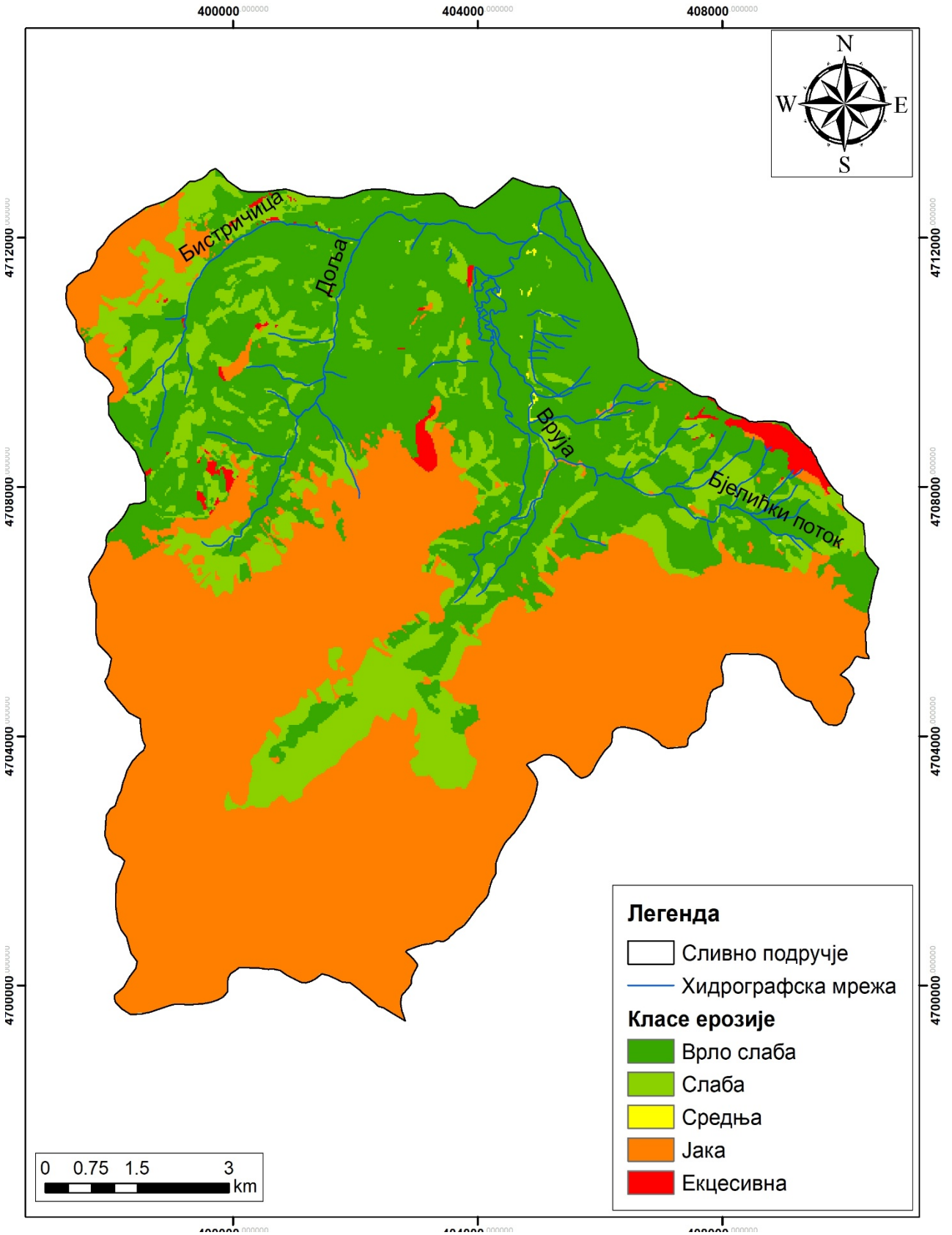
Слив Луче показује готово идентичну структуру категорија ерозије као и читав слив Плавског језера. У сливу је доминантна је врло слаба ерозија (143,18 km², 47,38%), док IV категорија (слаба ерозија) учествује са 25,28%. Друга (јака) категорија заузима 24,34% површине слива, док је ексцесивна ерозија (I категорија) присутна на 2,79% површине, углавном на стрмим и огољелим падинама, у зонама клизишта и дубоких јаруга. Иако просторно ограничене, ове површине представљају главне тачке интензивне продукције наноса током обилних падавина.

Трећа категорија ерозије је минимално заступљена (0,21%). Коефицијент ерозије (Z=0,36) сврстава овај слив у класу слабог интензитета ерозије. С обзиром да Луча главна притока Плавског језера, њена ерозиона активност има кључни значај за унос наноса у језеро.

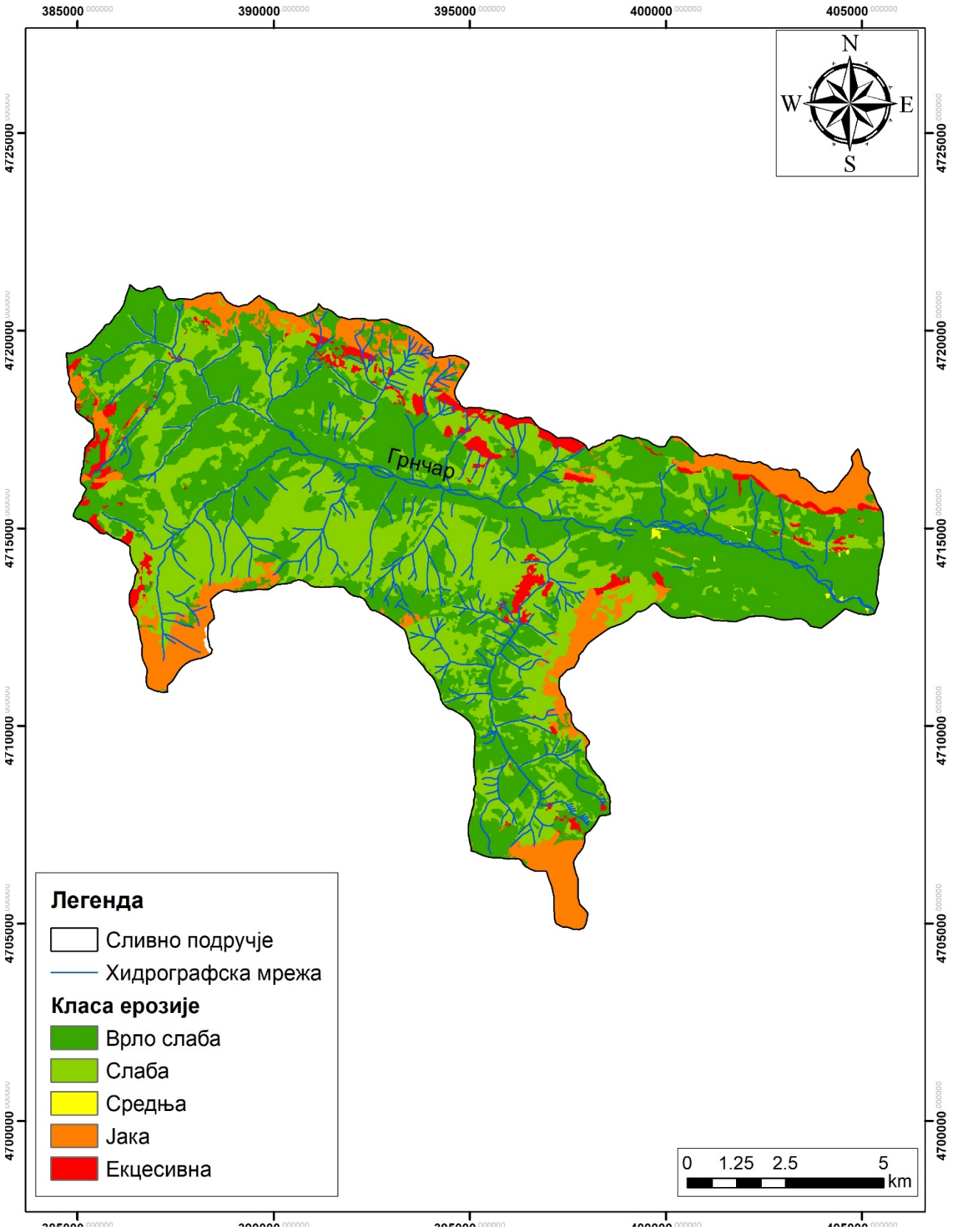
Притока Грнчар има површину од 139,45 km². У структури ерозије доминира V категорија (68,06 km², 48,85%), затим слаба категорија са 37,10%. Јака категорија ерозије учествује са 10,27%, док је ексцесивна ерозија (I категорија) заступљена са 3,61%. Средња категорија је занемарљиво присутна (0,17%). Коефицијент ерозије Z=0,28 сврстава слив Грнчара у сливове слабог интензитета ерозије.

Слив Врује обухвата површину 115,95 km² а у структури ерозионих категорија доминира II категорија ерозије (66,14 km², 42,45%), што указује на израженије јаке ерозионе процесе у односу на остале притоке. Значајно учешће има и V категорија (30,77%), док IV категорија обухвата 15,77% површине. Ексцесивна ерозија (I категорија) заступљена је са 5,83%, а III категорија са 5,18%. Коефицијент ерозије Z=0,55 је највиши међу анализираним сливовима и сврстава Врују у сливове средњег интензитета ерозије према Гавриловићу. Већи удио јаких ерозионих процеса указује на појачану продукцију наноса и повећану осјетљивост терена на деградацију, због чега Врује представља један од најзначајнијих извора наноса у Плавско језеро. Вриједности коефицијента ерозије показују да слив Плавског језера (Z=0,36), као и сливови Луче (Z=0,36) и Грнчара (Z=0,28), припадају сливовима слабог интензитета ерозије према класификацији Гавриловића. Насупрот томе, слив Врује (Z=0,55) издваја се као слив средњег интензитета ерозије, што указује на израженију динамику ерозионих процеса и већи потенцијал продукције наноса.

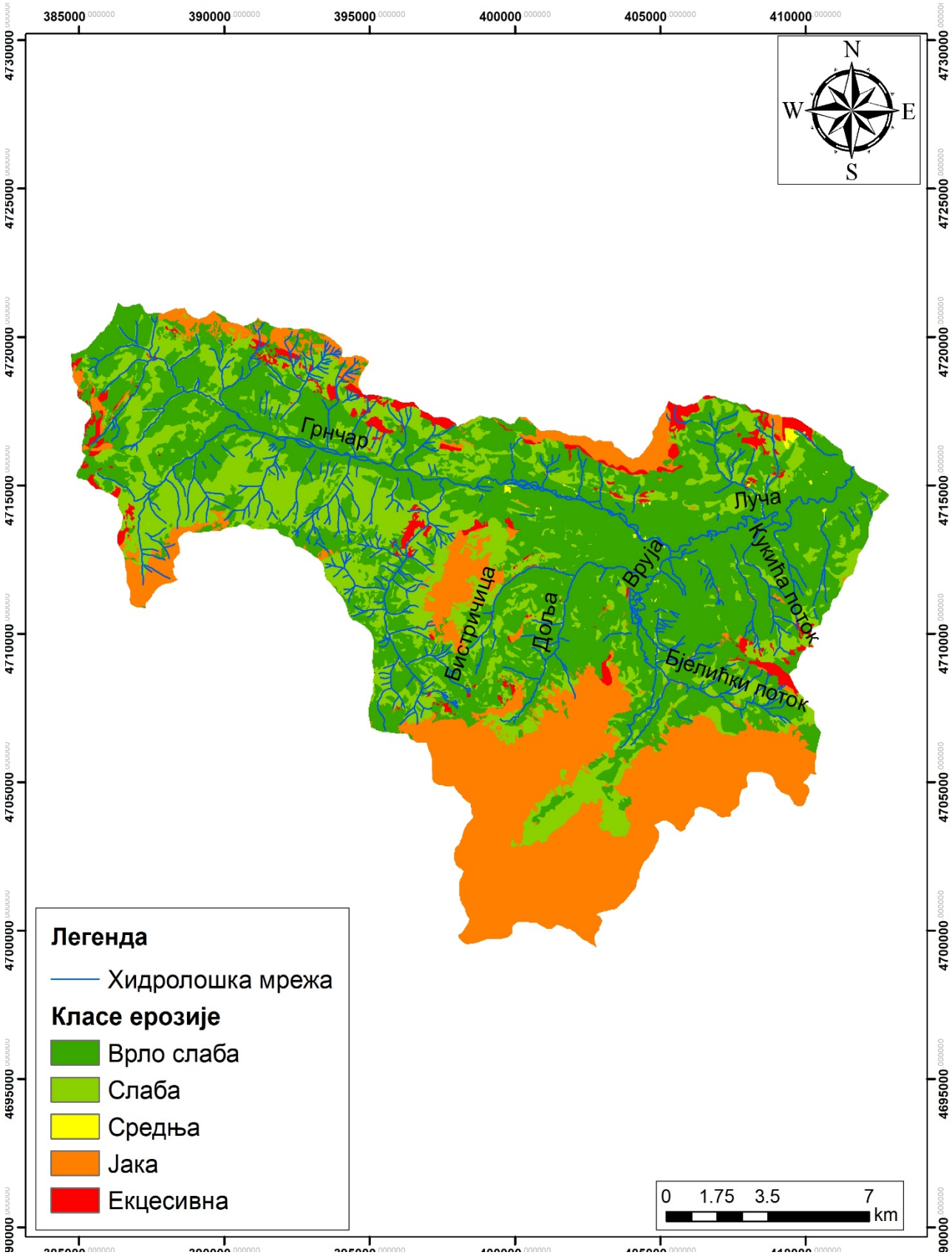
На сликама 6.1, 6.2, 6.3 и 6.4. приказане су карте категорија ерозије на основу података из Табеле 6.1 за Врују, Грнчар, Лучу и Бијели поток.



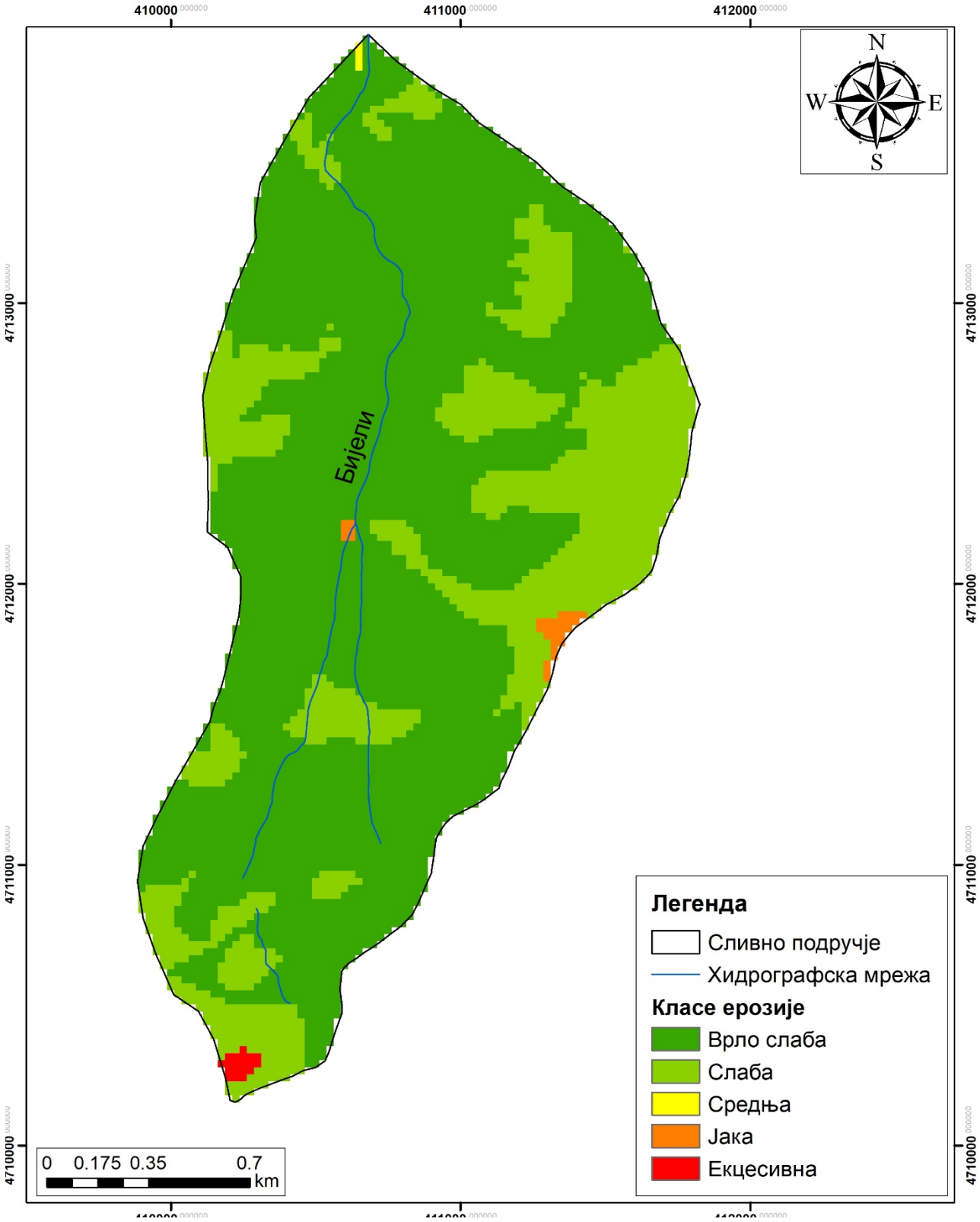
Слика 6.1. Карта категорија ерозије са приказом хидрографске мреже у сливу ријеке Врује (извор: аутор)



Слика 6.2. Карта категорија ерозије са приказом хидрографске мреже у сливу ријеке Грнчар (извор: аутор)



Слика 6.3. Карта категорија ерозије са приказом хидрографске мреже у сливу ријеке Луче (извор: аутор)



Слика 6.4. Карта категорија ерозије са приказом хидрографске мреже у сливу Бијелог потока (извор: аутор)

6.1.1. Прорачун продукције и проноса наноса

У овом поглављу представљени су резултати квантитативне анализе ерозионих процеса у сливу Плавског језера, добијени примјеном Гавриловићеве методе (МПЕ). Метод омогућава одређивање количине ерозионог материјала који се годишње формира на површини слива и његовог проноса водотоком до улазног профила. Анализа је спроведена за четири доминантна слива Плавског језера: Лучу, Грнчар, Врују и Бијели поток, који представљају кључне изворе наноса у систему Плавског језера. У оквиру слива ријеке Луче обухваћени су и њени бујични токови, међу којима су Кукића поток, Радончића поток, Вишњевски поток, Сулејман Сејтов поток и Мартиновићки поток, као и Бистричица притока Доље. Прорачун је обухватио одређивање коефицијента ерозије (Z), специфичне продукције наноса (Wsp), укупне годишње продукције наноса (Wg), као и специфичног и укупног проноса наноса (Gsp и Gg). Такође, израчунате су и вриједности вученог (Wwn) и суспендованог наноса (Wsn). На основу добијених вриједности могуће је издвојити подручја појачане ерозионе активности и утврдити сливове који имају највећи удио у укупном транспорту наноса према Плавском језеру. Количина вученог (Wwn) и суспендованог наноса (Wsn) одређена је на основу укупног годишњег проноса наноса добијеног примјеном Гавриловићеве методе, при чему је извршена подјела наноса према начину транспорта у водотоку. Вучени нанос представља крупнији материјал који се креће по дну корита, док суспендовани нанос чине ситније честице које се транспортују у воденој маси.

Табела 6.2. Резултати прорачуна продукције и проноса наноса (извор: аутор)

Притока	Површина слива F (km^2)	Ru	Wgod (m^3/god)	Wsp ($m^3/km^2/god^{-1}$)	Ggod (m^3/god)	Ggodsp ($m^3/km^2/god^{-1}$)	Wwn (m^3/god)	Wsn (m^3/god)
Плавско језеро	308,48	0,65	274.562,62	890,05	178.465,71	578,53	23.200,54	155.265,17
Грнчар	139,45	0,57	84.389,56	605,16	48.102,05	344,94	6.253,27	41.848,78
Луча	302,56	0,59	275.895,39	911,87	162.778,28	538,00	21.161,18	141.617,10
Врујa	115,95	0,81	195.619,83	1.687,11	158.452,53	1.366,56	20.598,83	137.853,70
Бијели поток	4,00	0,60	566,66	139,34	339,08	83,38	12,62	326,46

У Табели 6.2 су дати резултати прорачуна продукције и проноса наноса за слив Плавског језера и његове главне притоке.

Резултати прорачуна за слив Плавског језера показују да укупна годишња продукција наноса износи 274.562,62 m^3/god, док специфична продукција достиже 890,05 m^3/km^2/god, што указује на изражен интензитет ерозионих процеса у сливу. Вриједност коефицијента ретенције Ru=0,65 указује да се значајан дио произведеног наноса транспортује према језеру.

Укупан годишњи пронос наноса износи 178.465,71 m^3/god, односно 578,53 $m^3/km^2/god^{-1}$ специфичног проноса, што указује на велике количине материјала које доспијевају у Плавско језеро. Од укупног проноса, највећи дио чини суспендовани нанос (155.265,17 m^3/god), док вучени нанос учествује са 23.200,54 m^3/god. Оваква структура транспорта указује на доминацију ситнијег материјала, који има значајну улогу у процесима замуљивања и постепеног смањења акумулационог простора језера.

Највећи укупни транспорт наноса регистрован је код ријеке Луче. Укупна количина транспортованог материјала за ријеку Лучу износи 162.778,28 m^3/god, што је условљено великом површином слива и релативно израженим транспортом ерозионог материјала. Од укупне количине, вучени нанос износи 21.161,18 m^3/god, док суспендовани нанос достиже 147.617,10 m^3/god.

Слив Врује такође показује изражен транспорт наноса. Укупна количина транспортованог материјала износи 158.452,53 m^3/god, при чему вучени нанос износи 20.598,83 m^3/god, а суспендовани нанос 137.853,70 m^3/god. Значајан транспорт наноса условљен је стрмим падинама, бујичним карактером водотока и израженим ерозионим процесима у сливу.

Слив Грнчара карактерише мањи укупни транспорт наноса, који износи 48.102,05 m^3/god. Од тога вучени нанос износи 6.253,27 m^3/god, док суспендовани нанос достиже 41.848,78 m^3/god.

Најмањи транспорт наноса регистрован је у сливу Бијелог потока, гдје укупна количина износи 339,08 m^3/god. Од тога вучени нанос износи 12,62 m^3/god, док суспендовани нанос износи 326,46 m^3/god. Иако су укупне количине мале, карактеристике малог бујичног слива указују на релативно интензивне ерозионе процесе и брз транспорт наноса до водотока.

Добијени резултати показују да се око 12–13% укупног наноса транспортује као вучени материјал, док 87–88% чини суспендовани нанос, који представља доминантни облик

транспорта ерозионог материјала према Плавском језеру. Оваква расподјела је значајна за планирање мјера заштите од ерозије и регулисање бујичних процеса, јер различите фракције наноса захтијевају различите приступе у контроли транспорта и седиментације.

Посебно значајан допринос засипању језера има слив Врује, који, иако мањи по површини, показује највећи специфични пронос наноса. Нанос произведен у сливу Врује транспортује се преко ријеке Луче до Плавског језера. Најинтензивније таложење материјала врши се у зони ушћа Луче у језеро, гдје усљед наглог опадања брзине струјања долази до губитка транспортне способности воде и формирања делтастих наслага.

Учешће вученог наноса у укупном проносу, као и анализа односа суспендованог и вученог материјала, може се даље користити за детаљнију процену утицаја на потенцијално запуњавање корита и акумулационих зона, што је од значаја за управљање водним ресурсима и планирање мјера заштите од ерозије и бујица. Посебно је значајно што завршни сегмент тока ријеке Луче представља највећу природну акумулациону зону, будући да се ријека непосредно улива у Плавско језеро. На овом дијелу долази до наглог пада брзине струјања, због чега се готово читав вучени и суспендовани нанос депонује у приобалној зони језера. Управо зато приобаље Плавског језера функционише као доминантна зона акумулације, у којој се таложи највећи дио транспортованог наноса, што утиче на процесе запуњавања језера и постепене промјене морфологије његовог обалног појаса.



Слика 6.5. Исталожени нанос у мајор кориту ријеке Луче
(аутор: Данијела Величковић, 22. 9. 2022. године)

На току ријеке Луче изражена је ерозија обала, која је веома интензивна, што потврђује фотографија на Слици 6.6.



Слика 6.6. Латерална ерозија у кориту ријеке Луче, (аутор: Данијела Величковић, 22. 9. 2022. године)

У теренским посматрањима уочен је велики број локалитета са рушевним обалама, чија дужина варира од око 30 до 300 m. Појава ерозије обала зависи од више природних фактора, укључујући геомеханичке, биолошке, хидролошке и хидрауличке факторе, као и од антропогених утицаја, као што су експлоатација шљунка и пијеска из Грнчара и неадекватна употреба приобалних површина.



Слика 6.7. Узимање узорка седимента са приобалног дијела ушћа, намијењеног за лабораторијску гранулометријску анализу

Табела 6.3. Резултати прорачуна продукције и проноса наноса за Сулејман Сејтов поток

Z	Isr (%)	F (km^2)	O (km)	L (km)	D (m)	Ru	Wgod (m^3/god)	Wsp ($m^3/km^2 \cdot god^{-1}$)	Ggod (m^3/god)	Ggodsp $m^3/km^2 \cdot god^{-1}$)	Wwn (m^3/god)	Wsn (m^3/god)
0,18	57,35	2,98	10,06	4,42	578,97	0,67	946,97	317,78	633,95	212,74	40,88	593,07

Прорачун продукције и проноса наноса за слив Сулејман Сејтовог потока (Табела 6.3), притоке Луче, показује да се ради о бујичном малом сливу са израженом транспортном способношћу. Иако слив заузима релативно малу површину од 2,98 km², његове морфометријске и орографске карактеристике условљавају значајну производњу ерозионог материјала и његов транспорт до реципијента.

Коефицијент ерозије Z=0,18 указује на слабу ерозију**,** што значи да процеси спирања и одношења земљишта нису равномјерно распоређени по сливу, већ су концентрисани на стрмим падинама, деградираним површинама и у зонама корита. Висок проценат стрмих површина Isr=57,35% потврђује да више од половине терена има значајан нагиб, што директно утиче на повећање брзине површинског отицања и ерозионе снаге воде. Дужина главног тока износи 4,42 km, док укупна дужина речне мреже достиже 10,06 km, што указује на добро развијену бујичну дренажну мрежу. Таква конфигурација омогућава брзу концентрацију атмосферских вода и формирање краткотрајних, али интензивних бујичних таласа. Годишња продукција наноса износи Wgod=946,97 m^3/god, док специфична продукција достиже 317,78 $m^3/km^2 \cdot god^{-1}$. Ови резултати показују да слив интензивно производи ерозиони материјал, који се састоји од земљишта, дробине и ситног каменог материјала покренутог током јаких падавина.

Годишњи пронос наноса износи Ggod=633,95 m^3/god, односно 212,74 $m^3/km^2 \cdot god^{-1}$ специфично, што указује да се значајан дио произведеног материјала транспортује до Плавског језера. Посебно је значајно да од укупног проноса доминира суспендовани нанос **(**Wsn=593,07 m^3/god), док је количина вученог наноса знатно мања (Wwn=40,88 m^3/god). Коефицијент ретенције наноса Ru=0,67 показује да се око двије трећине укупно произведеног

материјала из слива транспортује до Плавског језера, док се приближно једна трећина задржава унутар слива.

Табела 6.4. Резултати прорачуна продукције и проноса наноса за Кукића поток

Z	Isr (%)	F (km^2)	O (m)	L (km)	D (m)	Ru	Wgod (m^3/god)	Wsp ($m^3/km^2 \cdot god^{-1}$)	Ggod (m^3/god)	Ggodsp ($m^3/km^2 \cdot god^{-1}$)	Wwn (m^3/god)	Wsn (m^3/god)
0,17	53,21	4,13	12,93	6,50	610,43	0,68	1.204,58	291,67	820,40	198,65	49,97	770,43

Прорачун продукције и проноса наноса за слив Кукића потока (Табела 6.4) показује да се ради о бујичном сливу мале површине, али значајног утицаја на реципијент. Добијени коефицијент ерозије Z=0,17 према класификацији Гавриловићеве методе одговара категорији врло слабе ерозије. Годишња продукција наноса износи Wgod=1.204,58 m^3/god, док специфична продукција достиже 291,67 $m^3/km^2 \cdot god^{-1}$. Годишњи пронос наноса износи Ggod=820,40 m^3/god, односно 198,65 $m^3/km^2 \cdot god^{-1}$ специфично, што показује да се значајан дио произведеног материјала транспортује до Плавског језера.

Табела 6.5. Резултати прорачуна продукције и проноса наноса за Мартиновићки поток

Z	Isr (%)	F (km^2)	O (km)	L (km)	D (m)	Ru	Wgod (m^3/god)	Wsp ($m^3/km^2 \cdot god^{-1}$)	Ggod (m^3/god)	Ggodsp ($m^3/km^2 \cdot god^{-1}$)	Wwn (m^3/god)	Wsn (m^3/god)
0,26	32,09	9,91	14,27	6,10	637,92	0,75	5.466,95	551,66	4.081,93	411,90	380,24	3.701,68

Прорачун продукције и проноса наноса за слив Мартиновићки поток (лијева притока ријеке Луче) показује да се ради о планинском сливу са израженом бујичном динамиком и значајним транспортом ерозионог материјала. Површина слива износи 9,91 km², а коефицијент ерозије Z=0,26 сврстава га у категорију слабе ерозије према Гавриловићевој класификацији. Годишња продукција наноса Wgod износи 5.466,95 m³/god, а специфична продукција 551,66 m³/km²·god⁻¹. Годишњи пронос наноса Ggod износи 4.081,93 m³/god, односно 411,90 m³/km²·god^{-1} специфично, указује да се значајан дио произведеног материјала транспортује до Плавског језера. У структури проноса доминира суспендовани нанос чија количина износи Wsn =3.701,68 m³/god, док вучени нанос износи Wwn=380,24 m³/god.

Табела 6.6. Резултати прорачуна продукције и проноса наноса за Радончића поток

Z	Isr (%)	F (km^2)	O (km)	L (km)	D (m)	Ru	Wgod (m³/god)	Wsp (m³/km²·god^{-1})	Ggod (m³/god)	Ggodsp (m³/km²·god^{-1})	Wwn (m³/god)	Wsn (m³/god)
0,08	26,29	2,61	7,55	3,55	451,87	0,55	245,75	94,16	133,99	51,34	3,84	130,15

Прорачун продукције и проноса наноса за слив Радончића потока показује да се ради о малом планинском сливу са релативно слабом ерозијом. Површина слива износи 2,61 km², а коефицијент ерозије Z=0,08 сврстава га у категорију врло слабе ерозије. Годишња продукција наноса Wgod=245,75 m³/god^{-1}, односно 94,16 m³/km²·god^{-1} специфично, представља најмању продукцију међу до сада анализираним притокама.

Годишњи пронос наноса Ggod=133,99 m³/god (51,34 m³/km²·god^{-1}) показује да се мањи дио произведеног материјала транспортује до Плавског језера. Вучени нанос је врло мали (Wwn = 3,84 m³/god). У поређењу са Кукића, Сулејман Сејтовим и Мартинића потоком, Радончића поток има најмањи утицај на акумулацију наноса Плавског језера, али и даље представља стални, континуирани извор ерозионог материјала.

Табела 6.7. Резултати прорачуна продукције и проноса наноса за Бјелићки поток

Z	Isr (%)	F (km^2)	O ((km)	L (km)	D (m)	Ru	Wgod (m^3/god)	Wsp ($m^3/km^2 \cdot god^1$)	Ggod (m^3/god)	Ggodsp ($m^3/km^2 \cdot god^1$)	Wwn (m^3/god)	Wsn (m^3/god)
0,27	29,68	9,58	14,53	6,56	628,00	0,55	5.592,71	583,79	4.080,70	425,96	394,75	3.685,95

Резултати прорачуна за слив Бјелићког потока (притока Грље) указују на присутне ерозионе процесе и значајан унос наноса у Плавско језеро. Површина слива износи 9,58 km^2, а коефицијент ерозије Z=0,27 сврстава слив у категорију слабе ерозије према класификацији Гавриловићеве методе.

Годишња продукција наноса Wgod=5.592,71 m^3/god, односно специфична продукција 583,79 $m^3/km^2 \cdot god^{-1}$. Годишњи пронос Ggod=4.080,70 m^3/god (425,96 $m^3/km^2 \cdot god^{-1}$) показује да се значајан дио произведеног материјала транспортује до Плавског језера. У структури проноса доминира суспендовани нанос Wsn=3.685,95 m^3/god, док је вучени нанос Wwn=394,75 m^3/god. У поређењу са Радончића потоком, Бјелићки поток представља знатно значајнији извор ерозионог материјала и један је од важнијих учесника у процесу смањења запремине Плавског језера.

Табела 6.8. Резултати прорачуна продукције и проноса наноса за Бистричицу

Z	Isr (%)	F (km^2)	O (km)	L (km)	D (m)	Ru	Wgod (m^3/god)	Wsp ($m^3/km^2 \cdot god^{-1}$)	Ggod (m^3/god)	Ggodsp $m^3/km^2 \cdot god^{-1}$)	Wwn (m^3/god)	Wsn (m^3/god)
0,39	25,90	12,25	17,32	5,72	654,03	0,86	12.414,93	1.013,46	10.632,23	867,94	1.485,63	9.146,60

На основу добијених параметара може се закључити да слив Бистричице, притоке Доље припада сливовима слабе ерозије. Коефицијент ерозије Z=0,39 указује да се ради о средњем степену ерозионих процеса, односно да у сливу не доминирају јако бујични услови, али су процеси спирања и одношења материјала стално присутни, нарочито на нагнутијим дијеловима терена и дуж водотока. Специфична продукција наноса износи Wsp=1.013,46 $m^3/km^2 \cdot god^{-1}$, што је карактеристично за планинско-брдске сливове са комбинацијом шумских и деградираних површина.

Годишња продукција еродираног материјала износи Wgod=12.414,93 m^3/god, док се из слива стварно изнесе Ggod=10.632,23 m^3/god. Од укупне количине наноса који се износи из слива, на вучени (крупнији) нанос отпада 1.485,63 m^3/god, док суспендовани (ситнији) нанос износи 9.146,60 m^3/god. У сливу доминира суспендовани нанос, што указује на преовлађивање површинског спирања земљишта и мању активност клизишта.

Табела 6.9. Резултати прорачуна продукције и проноса наноса за Вишњевски поток

Z	Isr (%)	F (km^2)	O (km)	L (km)	D (m)	Ru	Wgod (m^3/god)	Wsp ($m^3/km^2 \cdot god^{-1}$)	Ggod (m^3/god)	Ggodsp ($m^3/km^2 \cdot god^{-1}$)	Wwn (m^3/god)	Wsn (m^3/god)
0,09	25,78	3,62	10,24	5,01	441,62	0,57	406,71	112,35	230,48	63,67	7,43	223,05

Вриједност коефицијента ерозије Z=0,09 показује да слив Вишњевског потока припада сливовима врло слабо изражене ерозије. Специфична продукција наноса износи Wsp=112,35 $m^3/km^2 \cdot god^{-1}$, што је ниска вриједност и типична је за сливове под шумском вегетацијом и стабилним земљиштем. Укупна годишња продукција еродираног материјала је Wgod=406,71 m^3/god, док се из слива стварно изнесе Ggod=230,48 m^3/god, што значи да се значајан дио материјала задржава у самом кориту, на алувијалним проширењима и у подножју падина.

Од укупног наноса, вучени нанос износи 7,43 m^3/god, а суспендовани нанос 223,05 m^3/god. У пракси то значи да Вишњевски поток не транспортује значајне количине крупног

шљунковитог материјала, већ при већим водама углавном доводи до таложења финог наноса у низводним дијеловима водотока.

Табела 6.10. Резултати прорачуна продукције и проноса наноса за Дољу

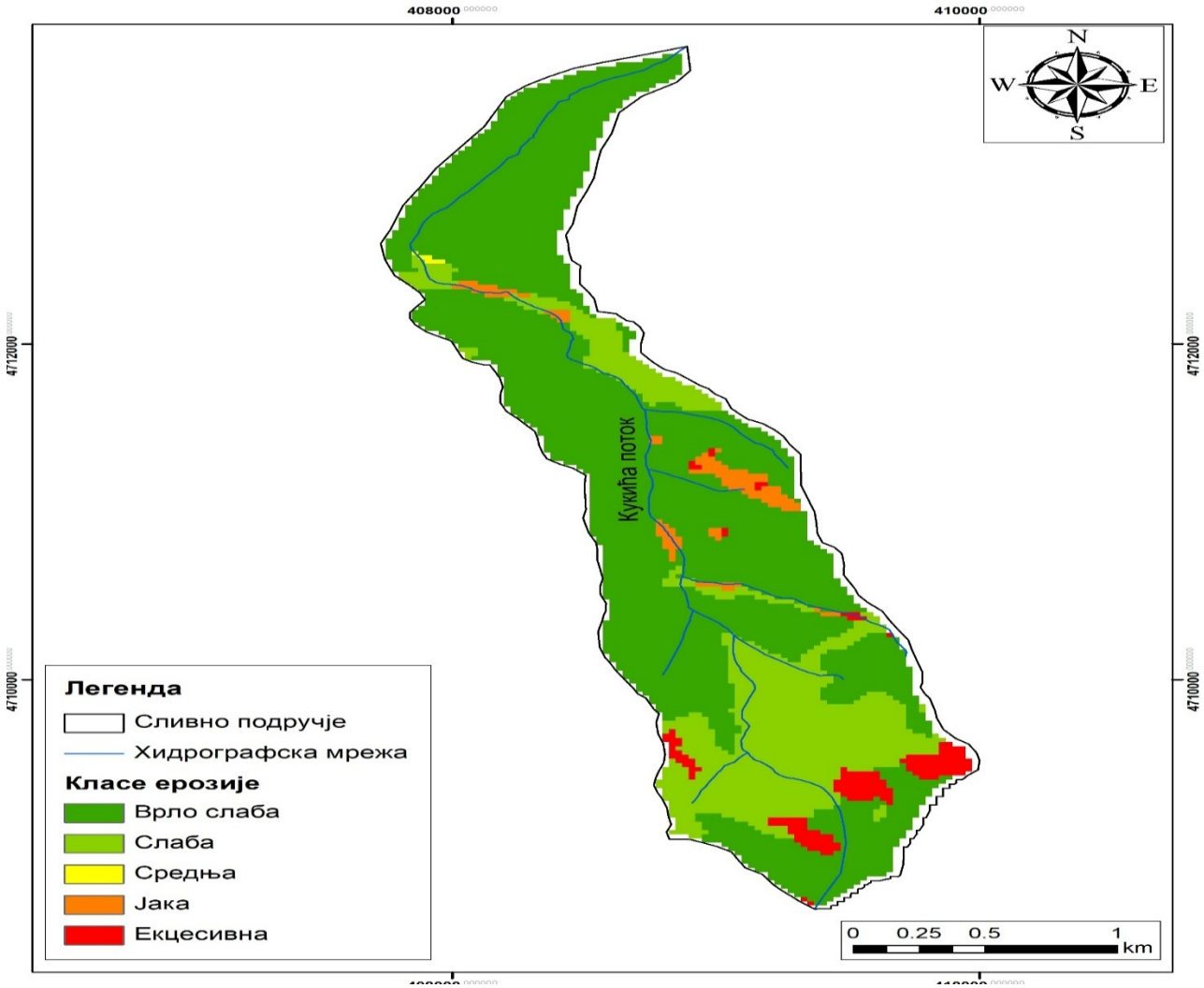
Z	Isr (%)	F (km^2)	O (km)	L (km)	D (m)	Ru	Wgod (m^3/god)	Wsp ($m^3/km^2 \cdot god^{-1}$)	Ggod (m^3/god)	Ggodsp ($m^3/km^2 \cdot god^{-1}$)	Wwn (m^3/god)	Wsn (m^3/god)
0,42	32,99	38,91	32,33	13,47	659,76	0,79	43.315,47	1.113,16	34.093,43	876,17	5.071,38	29.022,05

Резултати прорачуна продукције и проноса наноса у сливу Дође показују да коефицијент ерозије износи Z=0,42 (Прилог 5м) што указује на средњи интензитет ерозионих процеса. Укупна годишња продукција наноса износи Wgod=43.315,47 m^3/god, односно специфична продукцијаWsp=1.113,16$m^3/km^2 \cdot god^{-1}$.

Прорачунати укупни пронос наноса износи Ggod=34.093,43 m^3/god, односно специфични пронос Ggodsp=876,17 $m^3/km^2 \cdot god^{-1}$. Разлика између продукције и проноса представља количину материјала која се задржава у кориту и на алувијалним проширењима потока. Количина вученог наноса износи Wwn=5.071,38 m^3/god, док суспендовани нанос износи Wsn=29.022,05 m^3/god. С обзиром да Дођа представља притоку Врује, транспортовани материјал се даље преноси у главни ток и на тај начин учествује у укупном уносу наноса у слив Плавског језера. У Табели 6.11. је дата расподјела категорија ерозије за слив Кукића потока (површине и проценти по категоријама: врло слаба, слаба, осредња, јака и ексцесивна). На Слици 6.8. је приказана карта просторне расподјеле интензитета ерозије у сливу Кукића потока, односно распоред наведених ерозионих категорија по терену, заједно са границом слива и хидрографском мрежом.

Табела 6.11. Расподјела категорија ерозије – Кукића поток

Тип ерозије	km^2	%
Врло слаба	2,81	68,20
Слаба	0,92	22,33
Средња	0,06	1,46
Јака	0,15	3,64
Екцесивна	0,18	4,37
Коефицијент ерозије Z		0,17



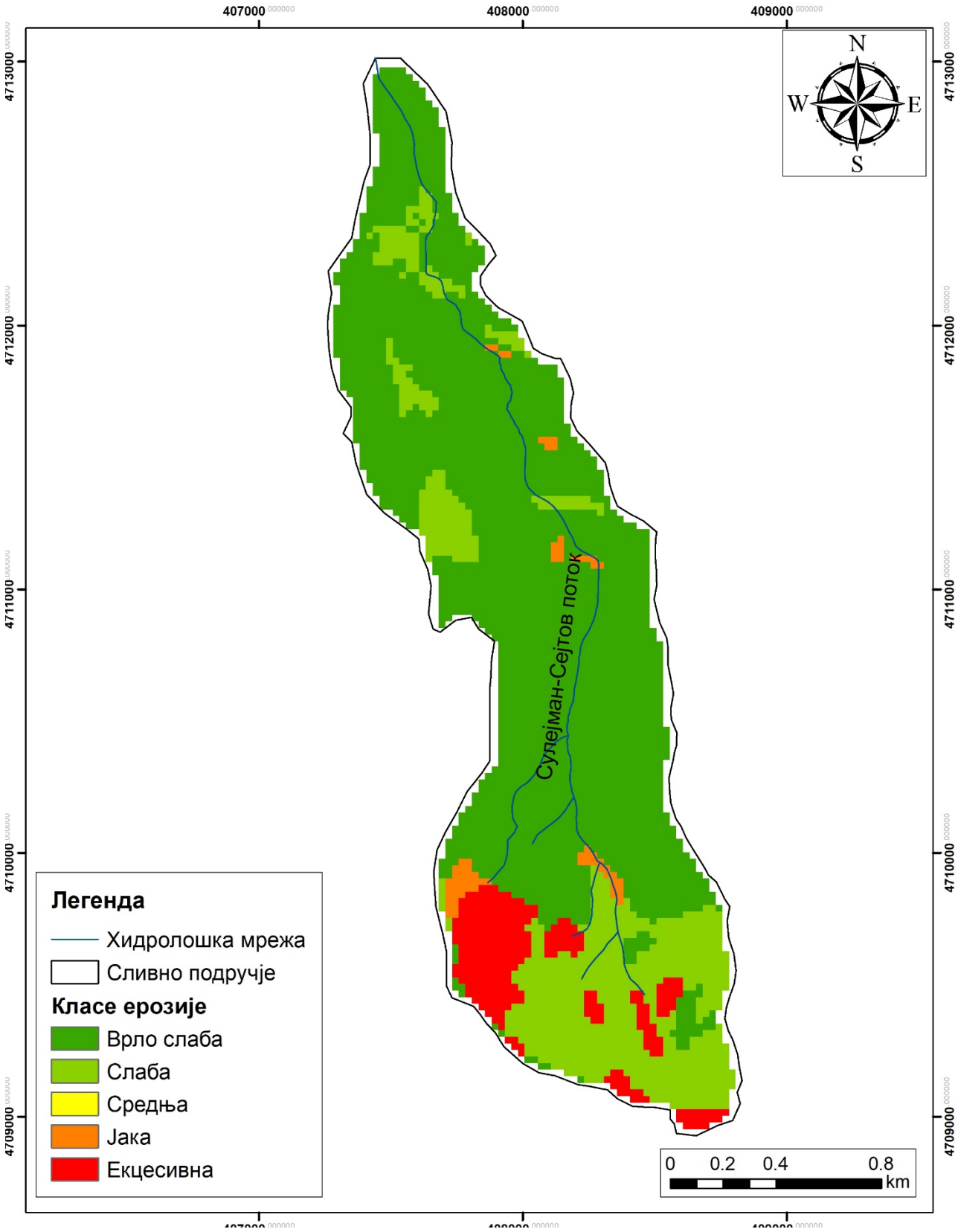
Слика 6.8. Карта просторне расподјеле интензитета ерозије у сливу Кукућа потока (извор: аутор)

Слив Кукића потока (Прилог 5j) има изразито бујични карактер. Највећи дио продукције наноса потиче из зона IV и V класе ерозије, док зоне I и II класе представљају стабилизоване површине са слабом ерозијом, које смањују површинско отицање и задржавају дио материјала унутар слива. Просторна расподјела показује типичан планински слив: стабилније долинске и шумске зоне и деградиране стрме падине које представљају главни извор ерозионог материјала.

Табела 6.12. Расподјела категорија ерозије – Сулејман Сејтов поток

Тип ерозије	km^2	%
Врло слаба	1,75	58,67
Слаба	0,27	9,20
Средња	0,63	21,19
Јака	0,09	3,00
Екцесивна	0,24	7,94
Коефицијент ерозије Z		0,18

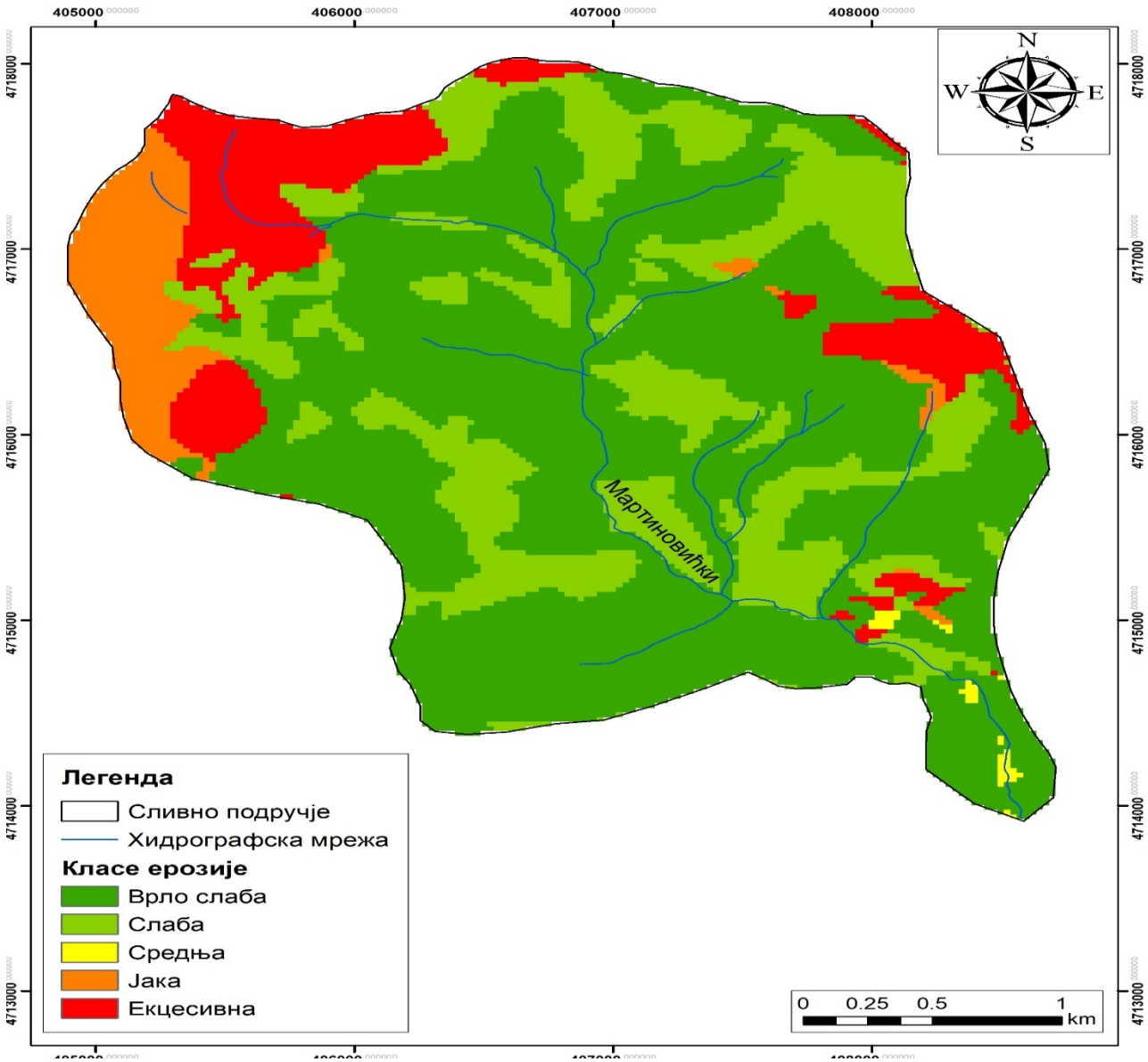
Карта просторне расподјеле интензитета ерозије у сливу Сулејман Сејтовог потока показује неуједначену расподјелу ерозионих процеса условљену морфологијом терена и покривеношћу вегетацијом. Највећи дио површине слива заузимају зоне врло слабе ерозије (58,67%), које су углавном везане за шумске и стабилизоване површине, гдје је земљиште добро заштићено од директног дејства падавина и површинског спирања. Зоне слабе ерозије (9,20%) надовезују се на ове површине и представљају прелазне дијелове са ограниченим процесима одношења материјала. Средња ерозија (21,19%) јавља се претежно на нагнутим падинама са рјеђим вегетационим покривачем, гдје долази до појачаног површинског отицања и постепеног одношења ситнијих честица. Јака (3,00%) и екцесивна ерозија (7,94%) присутне су у најстрмијим дијеловима слива.



Слика 6.9. Карта просторне расподјеле интензитета ерозије у сливу Сулејман-Сејтовог потока (извор: аутор)

Табела 6.13. Расподјела категорија ерозије –Мартиновићки поток

Тип ерозије	km^2	%
Врло слаба	5.87	59.22
Слаба	2.33	23.52
Средња	0.04	0.37
Јака	0.60	6.09
Екцесивна	1.07	10.79
Коефицијент ерозије Z		0,26



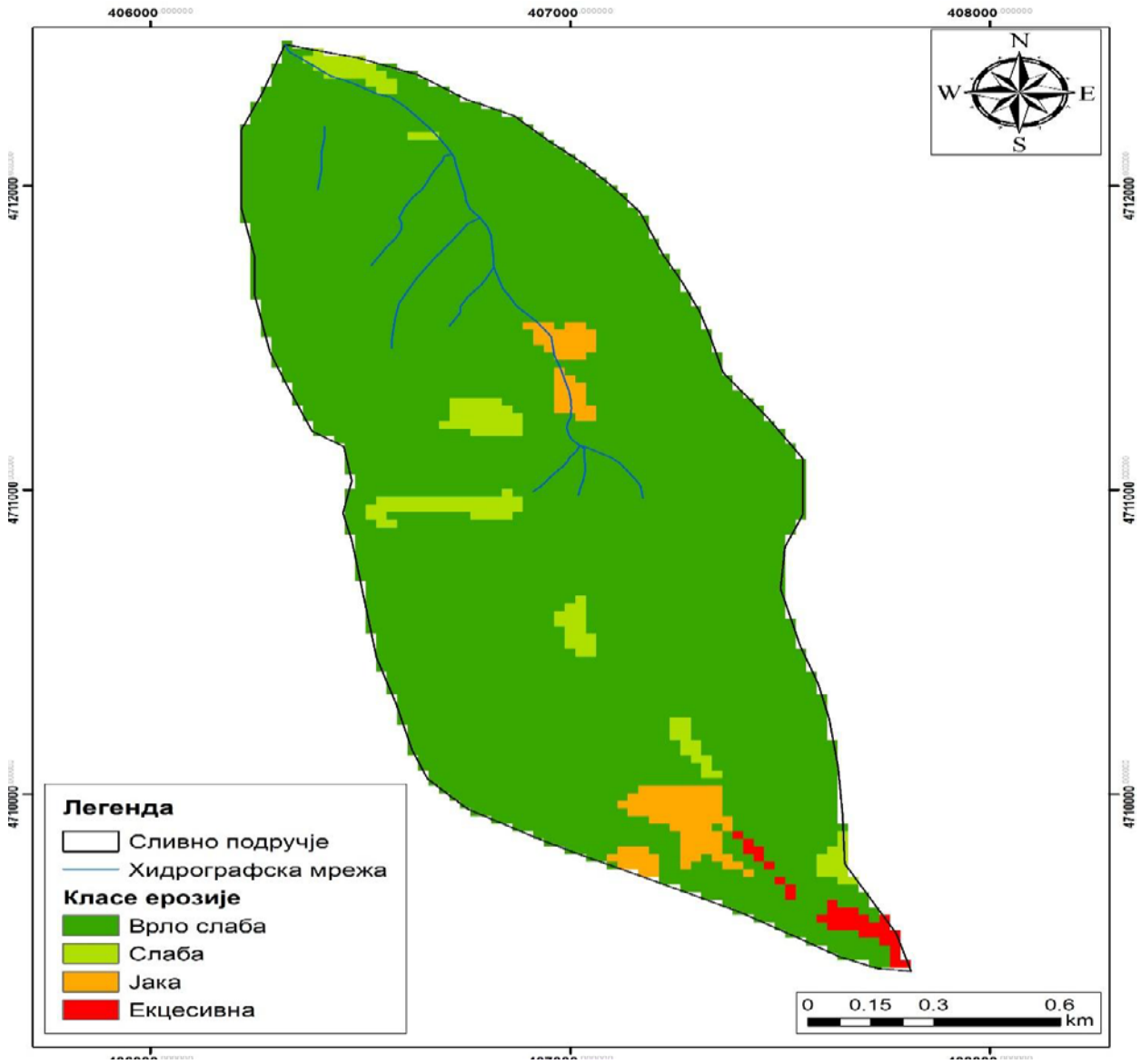
Слика 6.10. Карта просторне расподјеле интензитета ерозије у сливу Мартиновићког потока (извор: аутор)

Највећи дио површине слива Мартиновићког потока заузимају зоне врло слабе ерозије (59,22%), које су углавном везане за стабилизоване, претежно шумске и травнате површине. Зоне слабе ерозије (23,52%) надовезују се на ове површине и представљају прелазне дијелове са ограниченим процесима одношења материјала. Средња ерозија (0,37%) заузима веома малу површину, док су јака ерозија (6,09%) и екцесивна ерозија (10,79%) присутне на стрмим и деградираним падинама слива.

Табела 6.14. Расподјела категорија ерозије –Радончића поток

Тип ерозије	km^2	%
Врло слаба	2,42	92,68
Слаба	0,09	3,47
Средња	0,00	0,00
Јака	0,08	3,01
Екцесивна	0,02	0,84
Коефицијент ерозије Z		0,08

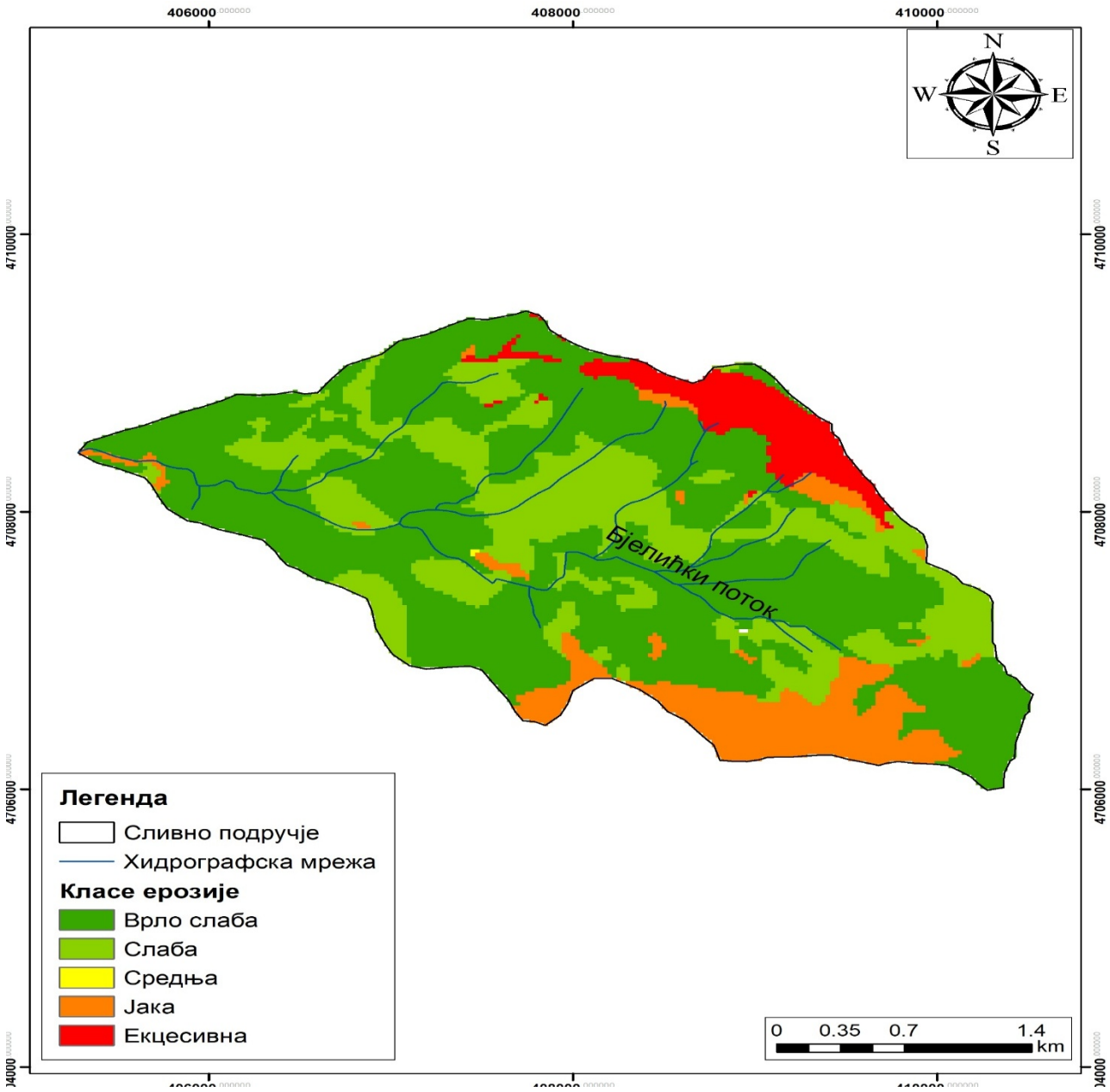
Табела 6.14. и карта (Слика 6.11) приказују просторну расподјелу интензитета ерозије у сливу Радончића потока. Процентуално највећи дио површине заузима врло слаба ерозија (92,68%)**,** затим слаба ерозија (3,47%)**,** док су јака ерозија (3,01%) и екцесивна ерозија (0,84%) заступљене на знатно мањим површинама слива.



Слика 6.11. Карта просторне расподјеле интензитета ерозије у сливу Радончића потока (извор: аутор)

Табела 6.15. Расподјела категорија ерозије –Бјелићки поток

Тип ерозије	km^2	%
Врло слаба	5,58	58,31
Слаба	0,01	0,09
Средња	2,44	25,50
Јака	1,00	10,40
Екцесивна	0,55	5,70
Коефицијент ерозије Z		0,27



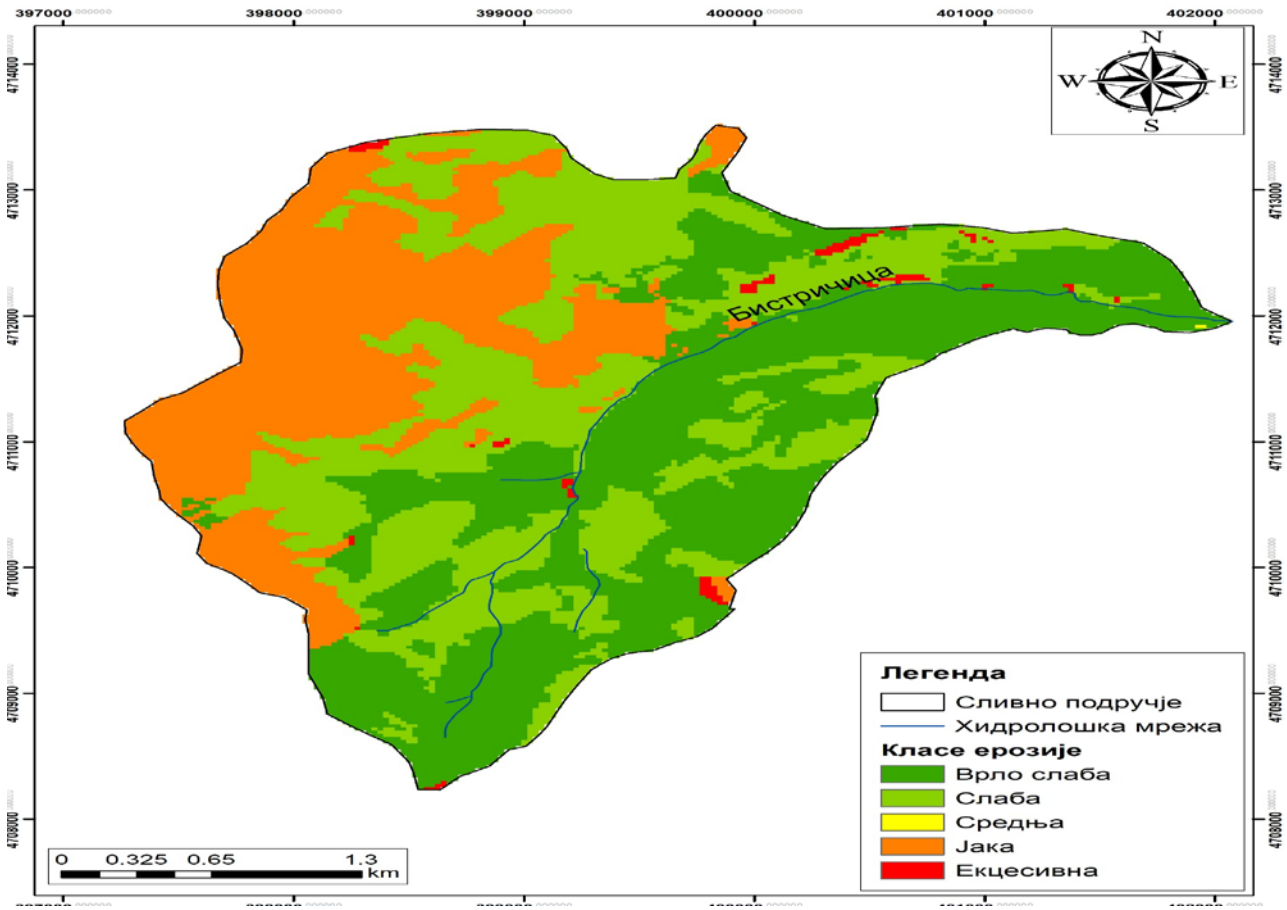
Слика 6.12. Карта просторне расподјеле интензитета ерозије у сливу Бјелићког потока (извор: аутор)

Карта просторне расподјеле категорија ерозије у сливу Бјелићког потока показује да доминирају површине врло слабе ерозије (58,31%), које су везане за стабилизоване терене са очуваним вегетационим покривачем.

Табела 6.16. Расподјела категорија ерозије – Бистричица

Тип ерозије	km^2	%
Врло слаба	4,69	38,24
Слаба	4,19	34,23
Средња	0,00	0,00
Јака	3,28	26,78
Екцесивна	0,09	0,75
Коефицијент ерозије Z		0,39

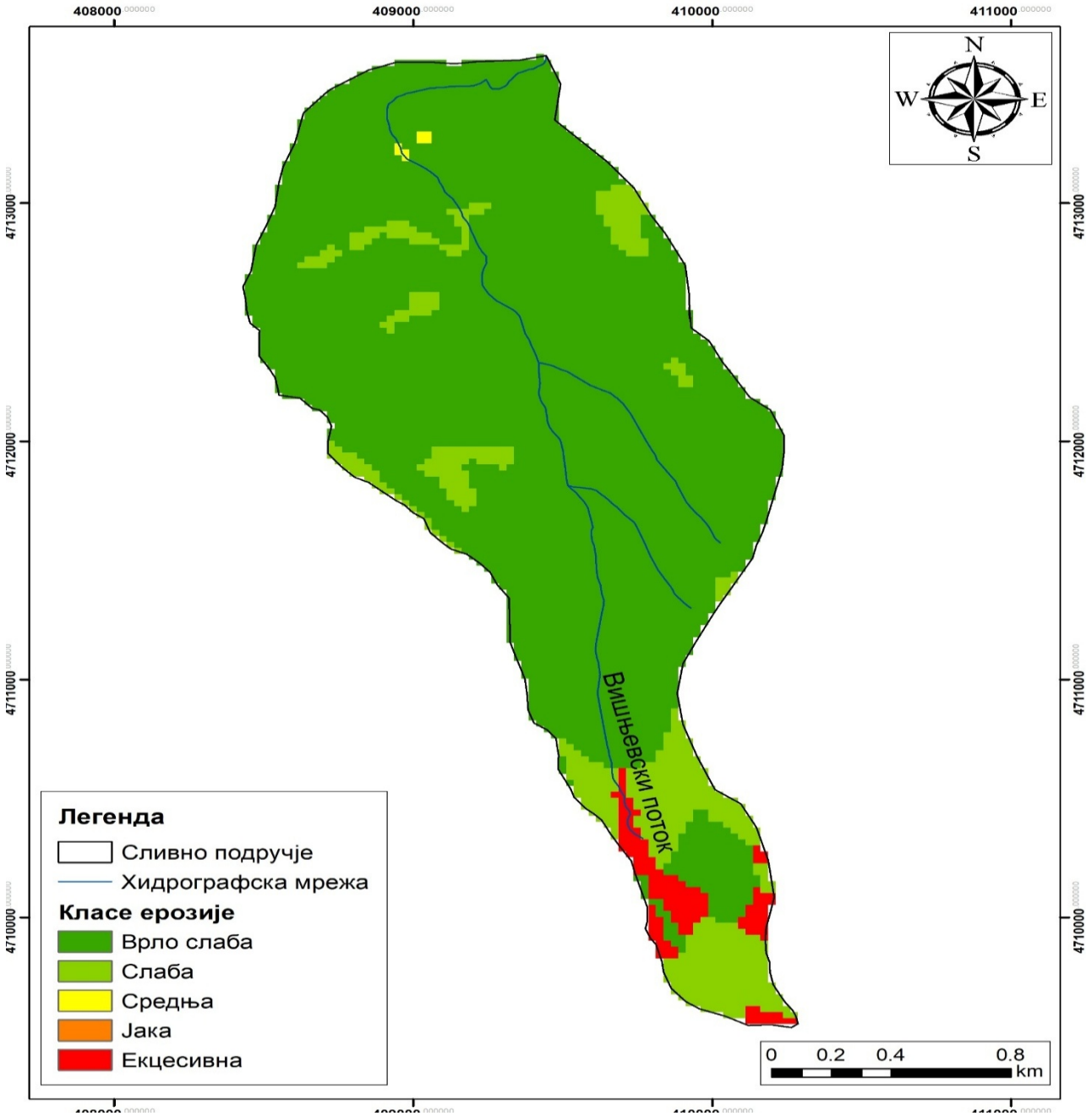
Таблеа 6.16. приказује расподјелу категорија ерозије у сливу Бистричице. У структури слива највећи удио имају зоне врло слабе ерозије (38,24%) и слабе ерозије (34,23%), што указује на присуство стабилнијих површина са добрим вегетационим покривачем. Значајан дио површине обухвата и јака ерозија (26,78%), која се јавља на стрмијим и морфолошки израженијим дијеловима терена. Екцесивна ерозија (0,75%) присутна је на веома малим површинама, док средња ерозија није заступљена у сливу.



Слика 6.13. Карта просторне расподјеле интензитета ерозије у сливу Бистричице (извор: аутор)

Табела 6.17. Расподјела категорија ерозије – Вишњевски поток

Тип ерозије	km^2	%
Врло слаба	3,07	84,83
Слаба	0,45	12,35
Средња	0,01	0,14
Јака	0,00	0,00
Екцесивна	0,10	2,67
Коефицијент ерозије Z		0,09



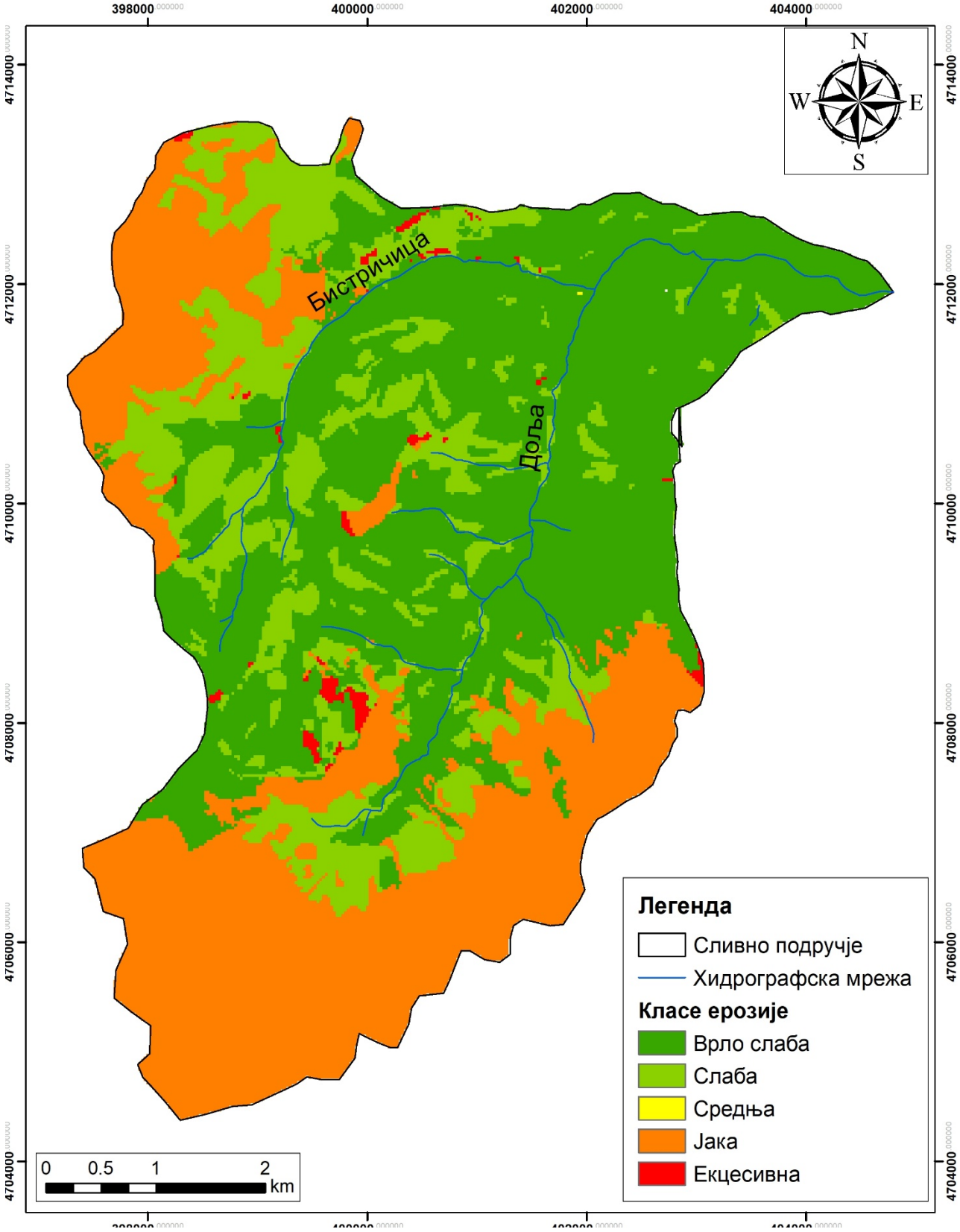
Слика 6.14. Карта просторне расподјеле интензитета ерозије у сливу Вишњевског потока (извор: аутор)

Расподјела категорија ерозије у сливу Вишњевског потока показује изразиту доминацију врло слабе ерозије, која захвата 3,07 km² или 84,83% укупне површине слива. Слаба ерозија присутна је на 0,45 km² (12,35%), док је средња ерозија занемарљиво заступљена (0,01 km² или 0,14%). Јака ерозија није регистрована, док се ексцесивна ерозија јавља на 0,10 km², односно 2,67% површине слива. Оваква структура указује да је слив у цјелини стабилан, са ерозионим жариштима зонама које захтијевају пажњу, али не утичу значајно на укупан ерозиони биланс слива.

Табела 6.18. Расподјела категорија ерозије – Доња, притока Врује

Тип ерозије	km^2	%
Врло слаба	17,70	45,48
Слаба	7,59	19,51
Средња	0,00	0,00
Јака	13,36	34,34
Екцесивна	0,26	0,67
Коефицијент ерозије Z		0,42

Анализа расподјеле класа ерозије у сливу Доље показује да највећи дио површине заузима врло слаба ерозија (45,48%), што је условљено добром покривеношћу терена вегетацијом и стабилнијим земљишним покривачем који смањује површинско спирање и продукцију наноса. Слаба ерозија заступљена је са 19,51% и јавља се на блажим падинама гдје су ерозиони процеси ограниченог интензитета. Значајан удио има и јака ерозија (34,34%), која је повезана са стрмијим падинама и деградираним дијеловима терена. Ексцесивна ерозија заступљена је на малим површинама (0,67%).



Слика 6.15. Карта просторне расподјеле интензитета ерозије у сливу Доље (извор: аутор)

Табела 6.19. Збирни преглед коефицијента ерозије у сливовима притока Плавског језера

Ред. бр.	Водоток (притока)	Површина слива (km^2)	Коефицијент ерозије Z	Категорија ерозије
1	Сулејман Сејтов поток	2,98	0,18	врло слаба
2	Кукића поток	4,13	0,17	врло слаба
3	Мартиновићки поток	9,91	0,26	слаба
4	Радончића поток	2,61	0,08	врло слаба
5	Бјелићки поток	9,58	0,27	слаба
6	Бистричица	12,25	0,39	слаба
7	Вишњевски поток	3,62	0,09	врло слаба
8	Доља	38,91	0,42	средња

6.2. Статистичка обрада података

6.2.1. Статистички прорачун великих вода

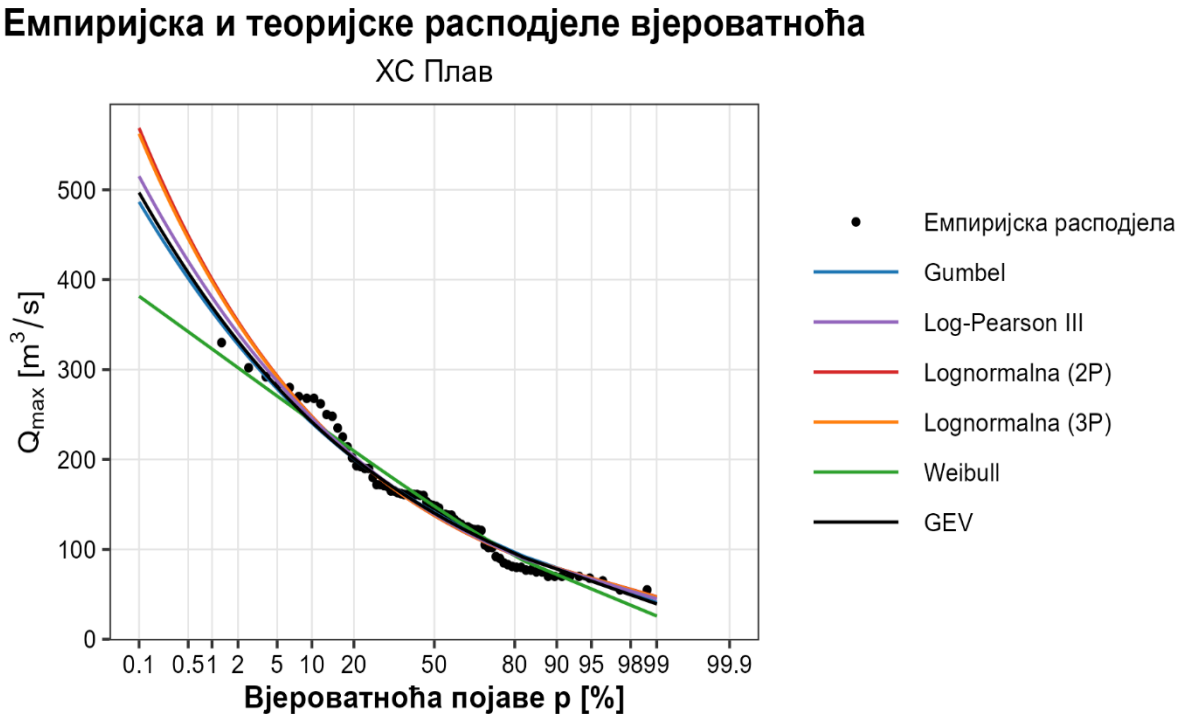
На основу хидролошких података о максималним годишњим протицајима за период 1948–2023. године, анализирани су максимални протицаји ријеке Лим, која директно утиче на хидролошки режим Плавског језера. Истицање ријеке Лим из Плавског језера има значајну геоморфолошку и седиментолошку улогу. На излазу из језера Лим више не функционише као ерозиони, већ претежно као транспортни ток, јер је већина крупнијег и средње крупног наноса претходно исталожена у језерском басену. Узорак обухвата 76 година посматрања. Максимално забележени протицај износио је 330,0 m^3/s, док је минимални протицај износио 55,0 m^3/s, а средња годишња вриједност износила је 152,2 m^3/s. Ови резултати показују значајан распон варијација у појави великих вода, што указује на изражену хидролошку динамику слива Плавског језера. У наставку су дати резултати прорачуна за поменуте расподјеле.

Стандардна девијација од 67,74 m^3/s потврђује значајна одступања од средње вриједности, док коефицијент варијације (Cv=0,4475) указује на средње висок степен варијабилности максималних протока. Коефицијент асиметрије (Cs=0,6693) упућује на позитивну асиметрију дистрибуције, односно на то да се већина годишњих максимума концентрише око нижих и средњих вриједности, док су екстремно високи протицаји рјеђи, али статистички значајни. Ово је посебно важно за процјену ризика од поплава у приобаљу Плавског језера, јер иако су екстреми ријетки, њихове посљедице могу бити изразито негативне.

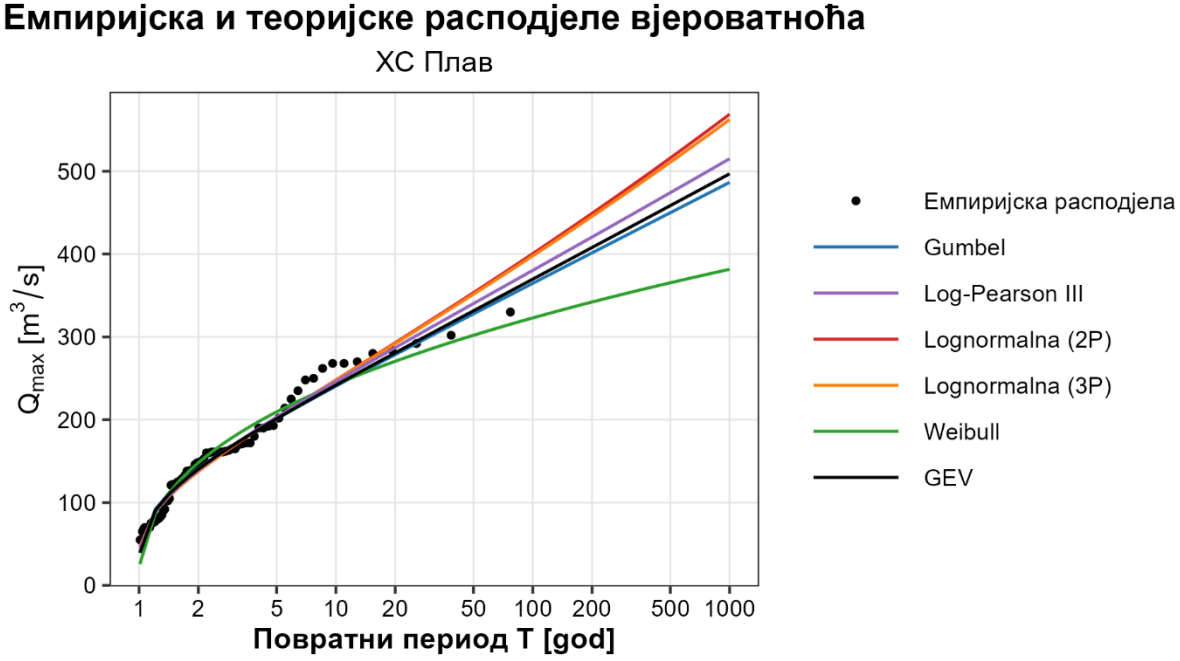
Примјеном логаритамске трансформације података добијена је стабилнија дистрибуција. Средња вриједност логаритмованих протока износи 2,139 док је коефицијент варијације 0,938, што указује на знатно уједначенију серију. Коефицијент асиметрије логаритмованих података (-0,1526) приближан је нули, што значи да лог-трансформисани низ практично има симетричну расподјелу и самим тим је погодан за даљу статистичку обраду.

Табела 6.20. Статистике узорака (максимални годишњи протцаји од 1948. до 2023. године), ХС Плав (извор: аутор)

Назив	Ознака	Вриједност
Број узорака	n	76
Максимална вриједност	Qmax (m^3/s)	330,0
Средња вриједност	Qsr (m^3/s)	152,2
Минимална вриједност	Qmin (m3/s)	55,0
Стандардна девијација	σ	67.74
Коефицијент варијације	Cv	0.4451
Коефицијент асиметрије	Cs	0.6693
Средња вриједност (logQ)	(logQ)sr	2.14
Коефицијент варијације (logQ)	Cv(logQ)	0.0932
Коефицијент асиметрије log(Q)	Cs(logQ)	-0.1526



Слика 6.16. Емпиријска и теоријске расподјеле вјероватноће максималних годишњих протицаја на ХС Плав (1948-2023)



Слика 6.17. Емпиријска и теоријске расподјеле вјероватноће максималних годишњих протицаја на ХС Плав (1948-2023)

Табела 6.21. Сагласности емпиријских и теоријских расподјела вјероватноћа (Anderson–Darling (AD), Chi-Square (χ^2), Kolmogorov–Smirnov (KS)

Расподјела	KS	AD	χ^2
Lognormal 2p	0.0916	0.9683	5.804
Lognormal 3p	0.0846	0.7639	5.756
Log-Pearson III	0.0810	0.7342	5.195
Weibull	0.1059	0.9538	6.742
Gumbel	0.0949	0.8951	6.401
GEV	0.0949	0.8987	6.380

На основу резултата тестова може се уочити да све анализиране расподјеле задовољавају услове сагласности са емпиријским низом, при чему се најмање вриједности тест статистика добијају за Log-Pearson III и Lognormal 3p расподјеле.

Иако резултати тестова сагласности показују нешто боље статистичке показатеље за поједине логаритамске расподеле, као мјеродавна за даљу анализу усвојена је GEV (Generalized Extreme Value) расподјела. Добијени параметри су: параметар облика k =0.0053., параметар размјере α=53,47 и параметар облика (μ)=120.71

Табела 6.22. Протицаји и модули максималних годишњих протицаја

p [%]	T [god]	Qmax [m³/s]	qmax [m³/s/km²]
50.0	2	140.33	0.386
20.0	5	201.24	0.553
10.0	10	241.76	0.665
5.0	20	280.79	0.772
2.0	50	333.51	0.912
1.0	100	369.70	1.017
0.5	200	407.88	1.122
0.2	500	458.47	1.261
0.1	1000	496.87	1.367

Модули максималних годишњих протицаја расту са смањењем вероватноће појаве, односно са порастом повратног периода, што је у складу са природом екстремних хидролошких појава. Добијене вриједности представљају основу за даље формирање мјеродавних хидрограма великих вода.

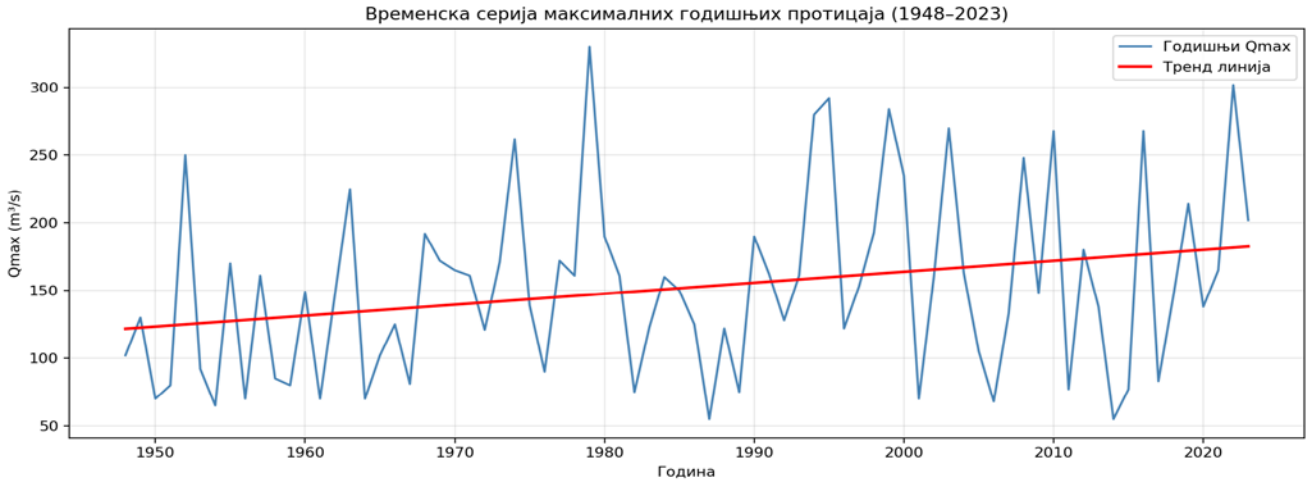
6.2.2. Прорачун малих вода

Анализа минималних протицаја извршена је коришћењем историјских дневних протицаја са хидрометеоролошке станице (ХС) Плав, у периоду дужем од двадесет година (1948-2023. године, подаци из Годишњака Завода за сеизмологију и хидрологију Црне Горе) чиме је обезбијеђена репрезентативност у погледу природне варијабилности хидролошких услова.

Табела 6.23. Усвојене расподјеле вјероватноћа

Серија	Усвојена расподјела
Qmin,1d	Лог-нормална
Qmin,10d	Општа расподјела екстремних вриједности
Qmin,20d	Пирсонова расподјела типа III
Qmin,30d	Лог-нормална
Qmin,mjes.	Лог-Пирсонова расподјела типа III

Анализиране расподјеле вјероватноће довољно добро се прилагођавају низу минималних протицаја у разматраном распону тражене обезбијеђености, као и мјеродавна усвојена Вејбулова расподјела. Анализиране су серије минималних годишњих протицаја трајања 1, 10, 20, 30 дана и серије минималних средњих мјесечних протицаја. Добијене вриједности минималних протицаја представљају карактеристичне хидролошке константе анализираног водотока. Оне су основа за дефинисање еколошких минималних протицаја**,** односно оних вриједности које обезбјеђују очување водних екосистема током сушних периода.



Слика 6.18. Временска серија протицаја са тренд линијом 1948-2023.године (извор: аутор)

Основне статистичке карактеристике формираних низова минималних протицаја приказане су у Табели 6.24 где су дати број узорака n, минимална и максимална вриједност протицаја

(Qmin и Qmax), средњи и медијански протицај (Qsr и Qmed), стандардна девијација (σ), као и коефицијенти варијације (Cv) и асиметрије (Cs).

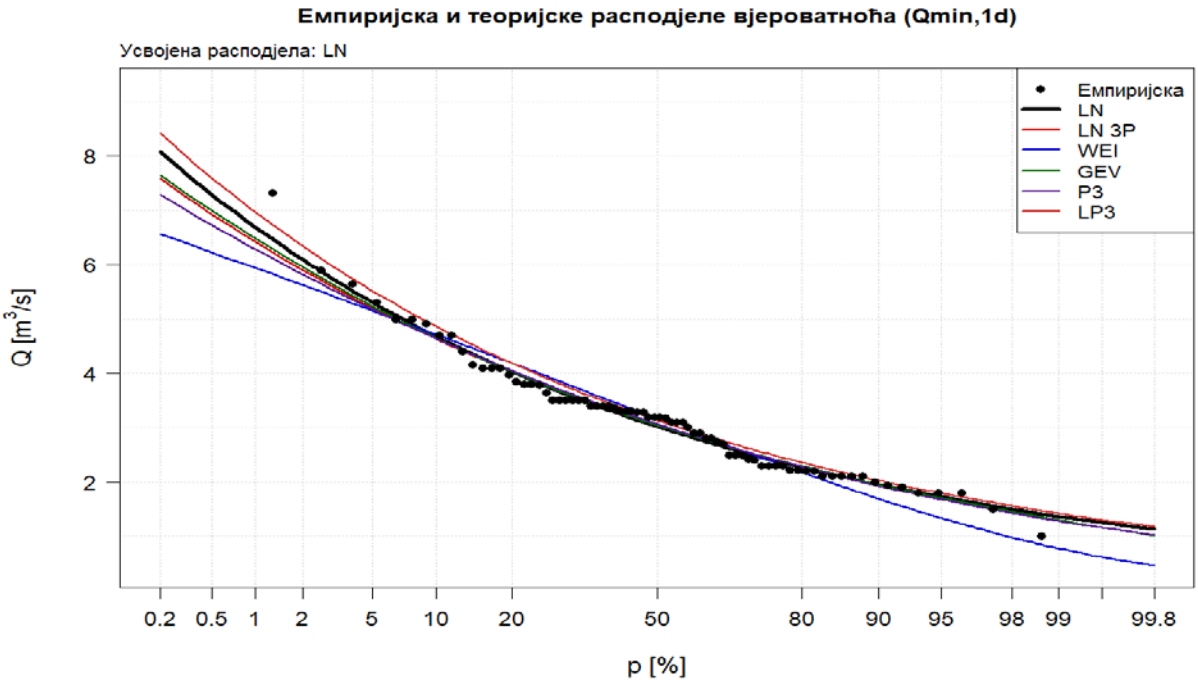
Табела 6.24. Основне статистичке карактеристике низова минималних протицаја (1948-2023)

Серија	Број узорака n [-]	Qmin [m^3/s]	Qmax [m^3/s]	Qsr [m^3/s]	Qmed [m^3/s]	σ [-]	Cv [-]	Cs [-]
Qmin,1d	76	1	7.32	3.1992	3.2	1.106	0.3457	0.9543
Qmin,10d	76	1.18	7.86	3.5347	3.4	1.2151	0.3438	1.0291
Qmin,20d	76	1.32	8.42	3.7588	3.6	1.2758	0.3394	1.0334
Qmin,30d	76	1.48	9.11	3.9538	3.735	1.4054	0.3555	1.1777
Qmin,mjes.	76	1.25	16	4.8333	4.04	2.6493	0.5481	1.959

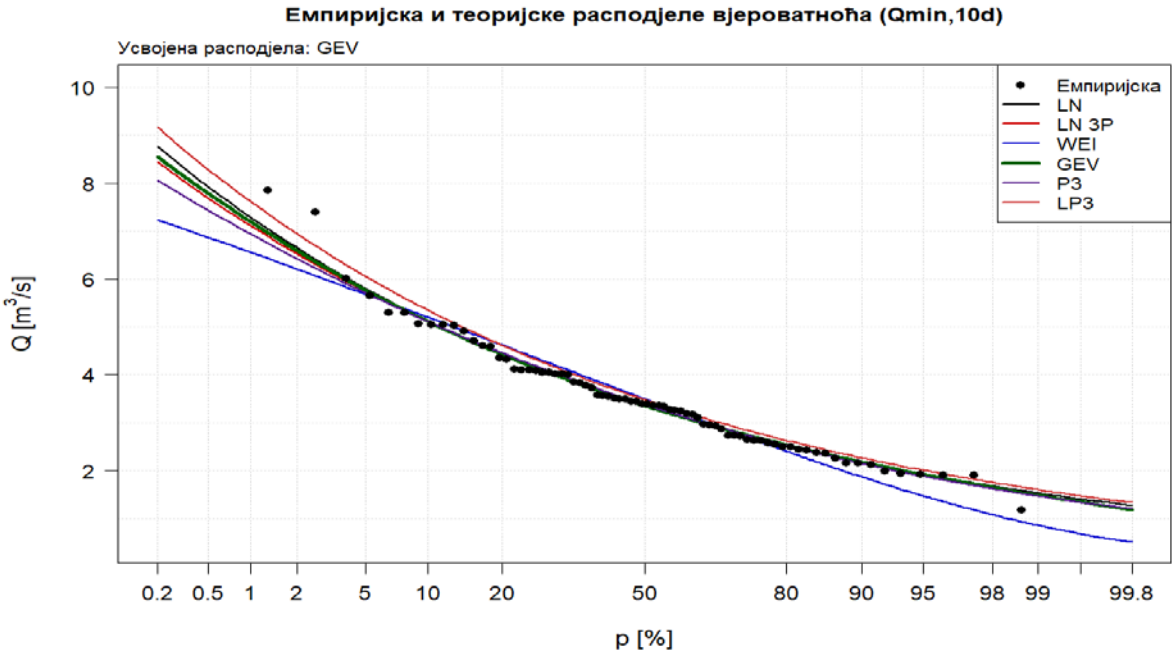
Израчунате вредности карактеристичних минималних протицаја за поједине серије приказане су у Табели 6.25.

Табела 6.25. Резултати прорачуна малих вода за обезбијеђеност p, m^3/s

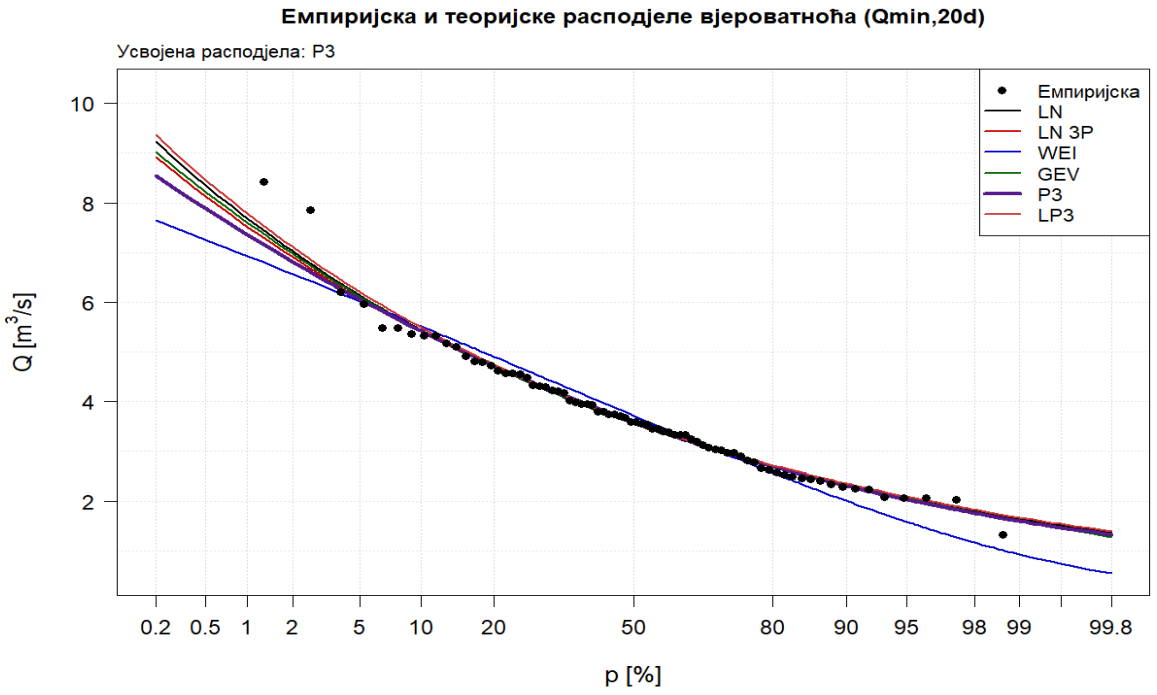
	50%	80%	90%	95%
Минимални 1-дневни протицаји	3,166	2,173	1,694	1,334
Минимални 10 дневни протицаји	3,497	2,401	1,871	1,474
Минимални 20-дневни протицаји	3,72	2,564	2,004	1,582
Минимални 30-дневни протицаји	3,899	2,638	2,036	1,589
Минимални средњи мјесечни протицаји	4,552	2,562	1,751	1,215



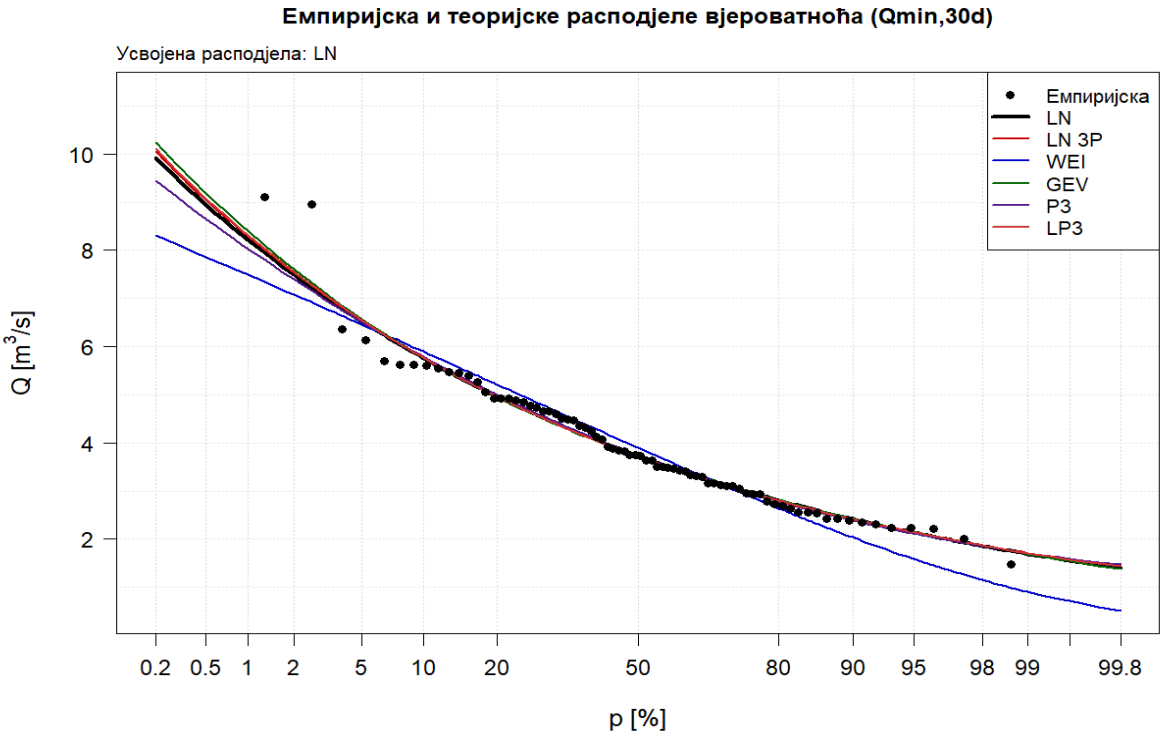
Слика 6.19. Криве учесталости минималних једнодневних протицаја (Qmin) у функцији вјероватноће појаве за хидролошку станицу Плав (1948-2023)



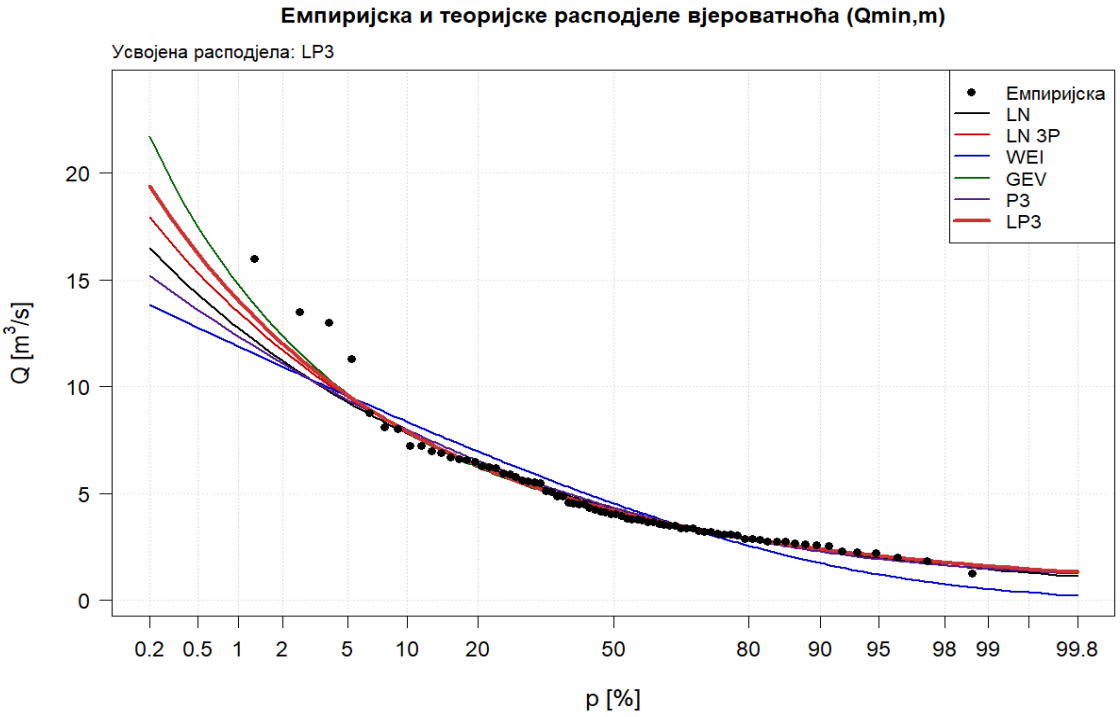
Слика 6.20. Криве учесталости минималних десетодневних протицаја у функцији вјероватноће појаве за хидролошку станицу Плав (1948-2023)



Слика 6.21. Криве учесталости минималних двадесетодневних протицаја у функцији вјероватноће појаве за хидролошку станицу Плав (1948-2023)



Слика 6.22. Криве учесталости минималних тридесетодневних протицаја у функцији вјероватноће појаве за хидролошку станицу Плав (1948-2023)



Слика 6.23. Криве учесталости минималних средњих мјесечних протицаја (Qmin) за хидролошку станицу Плав (1948-2023)

6.2.3. Резултати корелационе анализе тешких метала у седименту ријеке Луче

Анализа садржаја тешких метала у ријечном седименту представља важан инструмент за процјену степена антропогеног притиска и геохемијских процеса у сливу, али истовремено има и посебан значај у контексту противерозионе (ПЕ) заштите. Седимент у ријечним системима има двоструку улогу: са једне стране представља крајњи продукт ерозионих процеса у сливу, а са друге стране функционише као главни покретач и резервоар тешких метала (Solomon, Fostner 1984). Будући да се већина тешких метала везује за фину фракцију (муљ и глину), појачани ерозиони процеси и бујични догађаји директно утичу на њихов транспорт, таложење и евентуалну ремобилизацију (Owens et al., 2005). Сходно томе, у условима повећаног површинског отицаја и активних падинских процеса долази до повећаног уноса контаминираног материјала у водоток, што може довести до његовог даљег транспорта и акумулације у низводним дионицама. У том контексту, резултати корелационе анализе могу имати директну примјену у планирању и спровођењу противерозионих мјера, јер омогућавају идентификацију заједничких извора метала и механизама њиховог транспорта унутар сливног система. Повећање интензитета ерозије, посебно у бујичним притокама и на падинама са оскудним вегетационим покривачем, може довести до повећаног уноса метала у главни ток,

ремобилизације већ исталоженог контаминираног седимента и њихове акумулације у низводним дионицама, укључујући и осјетљиве акумулационе системе као што је Плавско језеро.

Због тога мјере које задржавају нанос као што су таложници и бујичне преграде морају бити пројектоване уз претходну процјену хемијског састава акумулираног материјала, јер се у задржаном седименту могу концентрисати различити тешки метали и други загађујући елементи (Meng, et al., 2022). Вјештачке структуре као што су попречне грађевине, бране или пресјечени меандри, изграђени прије периода интензивног загађења, могу допринијети задржавању контаминираног седимента. Насупрот томе, поплавне равни регулисаних ријечних корита, које се прилагођавају новим хидрауличким условима, често постају зоне акумулације финог контаминираног седимента који се таложи током изливања ријеке (Ciszewski, Grygar, 2016).

У циљу испитивања међусобних односа између појединих метала (цинк, арсен, кадмијум, бакар, гвожђе, олово и никал) у седименту ријеке Луче, примјењена је Пирсонова корелациона анализа ($\alpha = 0,05$; IBM SPSS v.26). Ниво статистичке значајности постављен је на $\alpha = 0,05$. Корелациона анализа омогућава идентификацију могућих заједничких извора, сличних геохемијских механизама таложења или заједничког транспорта везаног за одређене фракције седимента. Анализа је показала више статистички значајних позитивних корелација између појединих тешких метала у седименту ријеке Луче, што указује да њихова расподјела није случајна, већ контролисана заједничким процесима транспорта и таложења. У условима сливних система, тај контролни фактор је прије свега ерозија и динамика транспорта финог седимента.

Корелације Zn–Cd ($r=0,684$; $p= 0,042$) и Cd–Pb ($=0,669$; $p=0,049$) указују да се ови елементи јављају синхронизовано у седименту, што упућује на њихово везивање за исту гранулометријску фракцију. Будући да се Cd и Pb у значајној мјери адсорбују на честице муља и глине, повећана ерозија падина и површински отицај доводе до појачаног уноса управо те фракције у водоток. Самим тим, интензивирање ерозионих процеса директно условљава повећање транспорта ових метала. Корелација Zn–Ni ($=0,744$; $p=0,022$) додатно потврђује да је расподјела ових елемената под утицајем истих седиментолошких фактора. У сливовима са активним падинским процесима, гранулометријска селекција током транспорта доводи до акумулације финог материјала у мирнијим дионицама корита, што истовремено значи и акумулацију метала који су за њега везани. Стога је њихова корелација индиректни показатељ

утицаја ерозије на хемијски састав седимента. Снажна повезаност Hg–Pb (r=0,795; p=0,010) указује да се ова два високо токсична елемента транспортују у истој реактивној фази седимента, најчешће везани за органску материју и секундарне оксидне фазе. У условима бујичних таласа и повећане брзине тока, долази до ремобилизације управо ове фракције, што може резултирати наглим порастом концентрација у суспендованом материјалу. Најизраженија коваријација утврђена је у групи Cu–Ni–Pb (Cu–Ni: r=0,920; p < 0,001; Cu–Pb: r =0,818; p=0,007; Ni–Pb: r=0,854; p=0,003). Овако високи коефицијенти корелације указују да се ови елементи транспортују и таложе унутар исте фине седиментне фазе. Ерозија представља примарни механизам мобилизације те фазе са падина и обала, док хидролошка динамика контролише њено таложење у нижим дионицама. Стога се може закључити да је интензитет ерозионих процеса директно повезан са интензитетом динамике миграције наведених метала унутар сливног система. Посматрано у цјелини, утврђене корелације потврђују да ерозија у сливу ријеке Луче не утиче искључиво на количину транспорта наноса, већ и на просторну и квантитативну расподјелу тешких метала у седименту. Контрола ерозионих процеса стога има двоструки значај, морфолошки и хемијски јер редукција продукције и транспорта финог седимента истовремено значи и смањење мобилизације и дисперзије повезаних метала. За разлику од наведених елемената, арсен (As) није показао статистички значајну корелацију са осталим металима (нпр. Zn–As: r=0,286; p=0,456), што указује на могуће различито поријекло или специфично геохемијско понашање у седименту. Супротно томе, код пара бакар (Cu) и олово (Pb)**,** иако је r=0,818, p=0,07, корелација је нумерички релативно снажна, али није статистички значајна због малог броја узорака (N=9).

Табела 6.26. Пирсонов коефицијент корелације

N=9		Zn (mg/kg)	As (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Ni (mg/kg)
Zn (mg/kg)	ro	1,000	0,286	0,380	0,684*	0,472	0,573	0,575	0,744*
	p		0,456	0,314	0,042	0,200	0,107	0,105	0,022
As (mg/kg)	ro	0,286	1,000	-0,022	0,065	-0,265	-0,388	0,165	0,025
	p	0,456		0,955	0,869	0,491	0,302	0,671	0,948
Hg (mg/kg)	ro	0,380	-0,022	1,000	0,410	0,626	0,087	0,795*	0,566
	p	0,314	0,955		0,273	0,071	0,824	0,010	0,112
Cd (mg/kg)	ro	0,684*	0,065	0,410	1,000	0,518	0,310	0,669*	0,621
	p	0,042	0,869	0,273		0,153	0,416	0,049	0,074
Cu (mg/kg)	ro	0,472	-0,265	0,626	0,518	1,000	0,388	,818**	,920**
	p	0,200	0,491	0,071	0,153		0,302	0,007	0,000
Fe (mg/kg)	ro	0,573	-0,388	0,087	0,310	0,388	1,000	0,042	0,433
	p	0,107	0,302	0,824	0,416	0,302		0,915	0,244
Pb (mg/kg)	ro	0,575	0,165	0,795*	0,669*	0,818**	0,042	1,000	0,854**
	p	0,105	0,671	0,010	0,049	0,007	0,915		0,003
Ni (mg/kg)	ro	0,744*	0,025	0,566	0,621	,920**	0,433	0,854**	1,000
	p	0,022	0,948	0,112	0,074	0,000	0,244	0,003	

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed); ** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

6.2.4. Индекси загађења ријечног седимента проучаваног подручја

Процјена квалитета ријечног седимента има посебан значај у интегралном управљању сливом, јер ерозиони процеси представљају основни механизам транспорта тешких метала у воденим екосистемима. Тешки метали се у ријечним системима најчешће везују за фине честице (глина, муљ) и као такви се мобилишу током интензивних ерозионих и бујичних догађаја (Evans, 2006). У сливовима у којима је пољопривреда доминантан начин коришћења земљишта, ерозиони процеси могу бити посебно изражени. Употреба агрохемикалија, нарочито фосфатних ђубрива која могу садржати кадмијум и друге потенцијално токсичне елементе, може довести до повећања концентрација тешких метала у земљишту. Деловањем ерозионих процеса ови елементи се везују за честице наноса и површинским отицајем транспортују у водотокове, чиме постају важан фактор загађења седимената (Gilbert, 2018). Сходно томе, интензитет ерозије директно условљава не само количину транспортованог наноса, већ и флукс потенцијално токсичних елемената низводно. У том контексту, примјена индекса загађења (Igeo, PI, PI_N, PLI, CF, EF) и индекса еколошког ризика (Er и RI) омогућава интегралну процјену како степена акумулације тешких метала, тако и њиховог потенцијалног утицаја на екосистем. Концентрациони фактор (CF) и фактор обогаћења (EF) омогућавају разликовање природне позадинске концентације од антропогеног утицаја, чиме се идентификују зоне у сливу гдје ерозија може довести до транспорта обогаћеног, односно контаминираног материјала. Геоакумулациони индекс (Igeo) и Немеров комбиновани индекс (PI_N), као и индекс оптерећења екосистема (PLI), дају синтетичку слику степена загађености и омогућавају просторну приоритизацију противерозионих мјера. Посебан значај има индекс потенцијалног еколошког ризика (Er) и укупни индекс ризика (RI), заснован на моделу Хакансона (Hakanson, 1980), који комбинује токсичност елемената и њихову концентрацију у седименту. Високе вриједности ових индекса указују да ерозија у сливу не представља искључиво морфодинамички процес, већ и механизам секундарног загађења, јер мобилизација седимента истовремено значи и мобилизацију токсичних метала.

За потребе процјене степена загађености проучаваног подручја извршена је анализа више индикатора загађења. У оквиру истраживања израчунати су геоакумулациони индекс (*Igeo*, прилози), појединачни индекс загађења (*PI*, Слика 6.24, прилози 4а–4ђ), Немеров комбиновани индекс загађења (PI_N Слика 6.27), као и индекс оптерећења екосистема (*PLI*, прилог 4е). Поред тога, одређени су појединачни индекс еколошког ризика (*Er*, прилози 3а–3ж), појединачни индекс загађења PI (прилози 4а-4е), фактор обогаћења (*EF*, прилози 2а–2е)

и концентрациони фактор (*CF*, прилози 1а–1ж), као и токсичне јединице тешких метала (TU, прилози 5а–5ж) и сума токсичних јединица (ΣTU, прилог 5з).

За потребе израчунавања наведених индекса дефинисане су и *background* вриједности за проучавано подручје, изражене у процентима, које представљају референтни оквир за процјену степена обогаћења и потенцијалног ризика од присуства тешких метала у животној средини.

6.2.4.1. Концентрациони фактор

Концентрациони фактор (CF) представља показатељ степена акумулације одређених тешких метала у седиментима у односу на природни (геохемијски) ниво. Вриједности CF за седименте ријеке Луче су приказане у Табели 6.27 и крећу се у сљедећим опсезима: Zn (0,59–0,80), As (0,05–2,11), Hg (0,78–1,20), Cd (0,50–1,30), Cu (0,29–0,47), Pb (0,51–0,77) и Ni (1,16–1,56). Највише вриједности CF су забиљежене за арсен (As, 2,11) и никл (Ni, 1,56), што указује на умјерен антропогени утицај на седимент ријеке. Остали метали имају CF ниже од 1, што показује да су њихове концентрације блиске природним геохемисјким вриједносима и да није присутан значајан антропогони утицај. На основу добијених резултата може се закључити да су седименти ријеке Луче углавном ниско контаминирани, уз умјерено повећање концентрација арсена и никла, што може бити повезано са антропогеним активностима у сливу.

Табела 6.27. Вриједности концентрационог фактора (извор: аутор)

	CF Zn	CF As	CF Hg	CF Cd	CF Cu	CF Fe	CF Pb	CF Ni
1	0,59	0,05	1,00	0,50	0,40	0,70	0,57	1,27
2	0,64	1,83	0,78	0,50	0,34	0,77	0,51	1,24
3	0,64	2,11	0,97	1,05	0,38	0,66	0,61	1,28
4	0,67	2,11	1,00	0,50	0,38	0,71	0,58	1,31
5	0,60	1,83	0,8	0,50	0,31	0,65	0,50	1,21
6	0,67	2,05	1,00	1,10	0,40	0,68	0,63	1,33
7	0,60	2,05	1,00	0,50	0,29	0,63	0,54	1,16
8	0,80	0,14	1,2	1,30	0,47	0,84	0,77	1,56
9	0,64	2	0,8	1,00	0,29	0,76	0,51	1,20

6.2.4.2. Фактор засићења седимената тешким металима

За утврђивање нивоа тешких метала у седиментима ријеке Луче израчунат је фактор засићења (Enrichment Factor – EF), који представља показатељ степена антропогеног обогаћења елемената у односу на природни геохемијски ниво**.** Као референтни елемент за разликовање

природних и антропогених компоненти коришћено је гвожђе (Fe), које се сматра стабилним индикатором природног нивоа тешких метала. Вриједности фактора засићења мање од један (EF < 1) регистроване су за метале Zn, Cu и Pb у свим узорцима, док су за арсен утврђене двије вриједности мање од један (локације 1 и 8). Кадмијум је имао EF<1 на локацијама 1, 2, 4, 5 и 7, што указује да су концентрације ових метала у оквиру природног геохемијског нивоа и нису значајно под утицајем људских активности.

Мало засићење седимената тешким металима евидентирано је за никл, живу и кадмијум на појединим локацијама (EF=1,31–1,97), док је умјерено засићење утврђено за арсен у опсегу EF=2,38–3,25. За арсен је утврђено средње засићење (EF=3,04–3,25), што указује да концентрације овог елемента нису једино резултат распадања геолошке подлоге, већ могу бити под утицајем антропогених извора (Bockheim, 2014). Добијене вриједности за живу (Hg=1,02–1,58) указују на мало засићење седимената овим тешким металом, што се највероватније може повезати са природним процесима разлагања матичног супстрата, без значајног антропогеног утицаја.

Табела 6.28. Фактор засићења седимената ријеке Луче тешким металима **(**извор: аутор)

EF_Zn (mg/kg)	EF_As (mg/kg)	EF_Hg (mg/kg)	EF_Cd (mg/kg)	EF_Cu (mg/kg)	EF_Pb (mg/kg)	EF_Ni (mg/kg)
0,83	0,07	1,43	0,71	0,57	0,81	1,81
0,83	2,38	1,02	0,64	0,44	0,66	1,61
0,96	3,18	1,46	1,58	0,57	0,91	1,92
0,94	2,98	1,41	0,70	0,53	0,81	1,84
0,92	2,83	1,31	0,77	0,47	0,80	1,87
0,99	3,04	1,48	1,62	0,59	0,93	1,97
0,95	3,25	1,58	0,79	0,46	0,84	1,83
0,95	0,17	1,49	1,55	0,56	0,91	1,86
0,84	2,62	1,16	1,31	0,38	0,67	1,57

Табела 6.29 приказује факторе токсичности (T_r^i) и референтне концентрације (C_n^i) за појединачне тешке метале у ријечним седиментима. Ови параметри представљају основу за процјену потенцијалног еколошког ризика према моделу Хакансона (Hakanson, 1980), који се заснива на комбинацији токсичности метала и степена њихове акумулације у седименту.

Вриједности T_r^i одражавају релативну токсичност и еколошку осјетљивост појединих елемената, при чему највеће вриједности фактора токсичности имају Hg (40) и Cd (30), док остали метали имају знатно ниже вриједности.

Параметар C_n^i (μg/g) представља референтну, односно позадинску концентрацију метала у природним (незагађеним) седиментима, која служи као полазна основа за израчунавање индекса контаминације и појединачног индекса еколошког ризика (E_r^i).

На основу приказаних података, метали се према вриједностима фактора токсичности рангирају сљедећим редосљедом: Hg >Cd >As>Cu=Pb=Ni>Zn = Fe. Ова класификација указује да жива (Hg) и кадмијум (Cd) имају највећи потенцијални значај у процјени еколошког ризика, док цинк (Zn) и гвожђе (Fe) имају најмање вриједности фактора токсичности.

Табела 6.29. Референтне вриједности (T_r^i) и коефицијент токсичности (C_n^i) тешких метала у седименту (извор: аутор)

	Zn	As	Hg	Cd	Cu	Fe	Pb	Ni
T_r^i	1	10	40	30	5	1	5	5
C_n^i (μg/g)	84,00	9,50	0,10	0,30	28,30	100,00	19,80	57,00

Табела 6.30 приказује вриједности појединачног индекса потенцијалног еколошког ризика (E_r^i) за тешке метале у ријечним седиментима ријеке Луче, као и укупни индекс ризика (RI). Анализа показује да већина метала (Zn, As, Cu, Pb и Ni) припада категорији ниског потенцијалног ризика (E_r^i<40), што указује на ограничен утицај ових елемената на квалитет седимента и водених екосистема.

Вриједности индекса за живу (Hg) указују на низак до умјерен потенцијални ризик, док кадмијум (Cd) такође припада категорији ниског ризика. Највеће вриједности индекса забиљежене су за гвожђе (Fe), које на свим истраживаним локацијама има знатно више вриједности у односу на остале елементе. Повишене вриједности овог индекса највјероватније су условљене природним геохемијским карактеристикама подручја, као што су присуство стијена богатих гвожђем и интензивни процеси ерозије матичног супстрата.

Укупни индекс ризика (RI) варира у интервалу од 284,96 до 385,08. Према класификацији Хакансона (Hakanson, 1980), ове вриједности указују на умјерен до значајан ниво потенцијалног еколошког ризика. Највише вриједности RI забиљежене су на локалитетима 8,

9 и 2, што указује на појачану акумулацију потенцијално токсичних елемената у овим дијеловима тока. Просјечне вриједности индекса E_r^i опадају сљедећим редосљедом: Fe>Hg> Cd>Ni>Cu >Pb>Zn>As.

Табела 6.30. Индекс потенцијалног еколошког ризика тешких метала у седименту ријеке Луче, Црна Гора (извор: аутор)

E_r^i	**Zn**	**As**	**Hg**	**Cd**	**Cu**	**Fe**	**Pb**	**Ni**	**RI**
1	0,4881	0,1053	32,0000	10,0000	3,8869	250,6200	1,7929	8,3333	307,2265
2	0,5357	3,4737	25,2000	10,0000	3,3569	276,2200	1,6162	8,1579	328,5603
3	0,5350	4,0000	31,2000	21,0000	3,7100	238,1600	1,9190	8,4210	308,9462
4	0,5595	4,0000	32,0000	10,0000	3,7102	254,3000	1,8182	8,5965	314,9844
5	0,5000	3,4737	27,2000	10,0000	3,0035	232,3100	1,6414	7,9825	286,1111
6	0,5595	3,8947	32,0000	22,0000	3,8869	242,3700	1,9949	8,7719	315,4781
7	0,5000	3,8940	32,0000	10,0000	2,8260	226,4100	1,6910	7,6310	284,9551
8	0,6667	0,2737	40,0000	26,0000	4,5936	300,8600	2,4242	10,2632	385,0814
9	0,5357	3,7895	28,4000	20,0000	2,8269	273,4100	1,6162	7,8947	338,4729

Табела 6.31. Процентуално учешће класа загађења према Er индексу (извор: аутор)

Вриједност	Zn	As	Hg	Cd	Cu	Fe	Pb	Ni
Er < 40	100%	100%	88,88	100%	100%	0	100%	100%
40 < Er < 80	0%	0% %	11,11	0%	0%	0%	0%	0%
80 < Er <160	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
160 <Er<320	0%	0%	0%	0%	100	100	0%	0%
Er > 320	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Σ	100	100	100	0	0	100	100	100

Табела 6.32. приказује класе потенцијалног еколошког ризика у седименту ријеке Луче, одређене на основу укупног индекса еколошког ризика (RI). Добијене вриједности RI крећу се у интервалу од 284,96 до 385,08. Према класификацији Хакансона (Hakanson, 1980), ове вриједности указују на врло висок ниво потенцијалног еколошког ризика. Највећи допринос укупном индексу ризика дају гвожђе (Fe) и жива (Hg), док остали метали имају знатно мањи утицај на укупни еколошки ризик седимента.

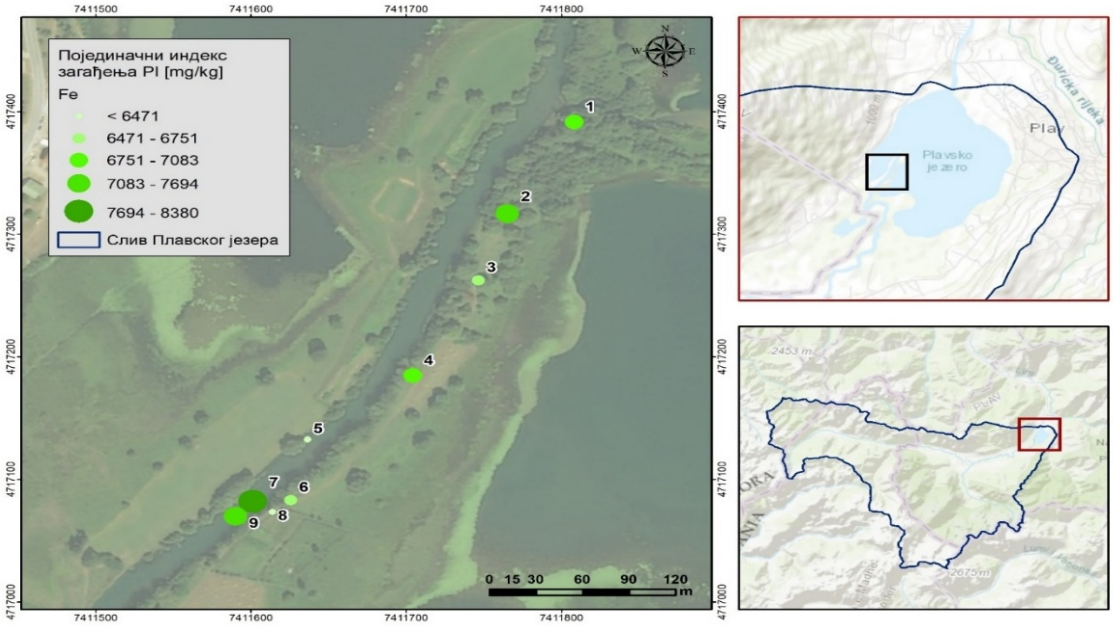
Табела 6.32. Вриједности потенцијалног еколошког ризика у седименту (извор: аутор)

Класа	Вриједност	Степен ризика (%)	% од укупног броја профила
1	RI<65	Низак еколошки ризик	0
2	65<RI<130	Умјерен еколошки ризик	0
3	130<RI<260	Значајан еколошки ризик	0
4	RI >260	Врло висок еколошки ризик	100

Појединачни индекс загађења (Pollution Index – PI) представља квантитативни показатељ потенцијалне контаминације седимената одређеним тешким металом и користи се као основа за израчунавање заједничких индекса загађења. На проучаваном подручју, просјечне вриједности PI индекса повећавају се по редосљеду: Cu< Pb< Zn< Cd < Hg< Ni< As< Fe. Овај редослијед указује на то да је гвожђе (Fe) геохемијски доминантан елемент у седименту**,** док остали метали доприносе значајно мање. Највеће вриједности појединачног PI индекса за гвожђе забиљежене су у распону 6–8, што указује на високу концентрацију и значајан степен загађења седимента овим елементом**.** Укупне вриједности PI индекса за све анализиране метале крећу се у интервалу 0,33 до 226,41, што указује на значајну варијабилност концентрација метала у различитим дијеловима тока ријеке. Класе загађености седимената на основу вриједности PI индекса приказане су у Табели 6.33, док је просторни распоред појединачног индекса загађења гвожђем (PI) представљен на Слици 6.24, што омогућава идентификацију подручја са повећаним степеном загађења. Посебну пажњу привлачи чињеница да појединачни индекс загађења гвожђем у свим профила припада класи веома јаког степена загађења (PI>5). Ово указује на доминантно присуство гвожђа у седименту, што може бити посљедица природних геохемијских услова (присуство фериносних или гвожђем обогаћених стијена и ерозија матичног супстрата), али и потенцијалног утицаја антропогених активности.

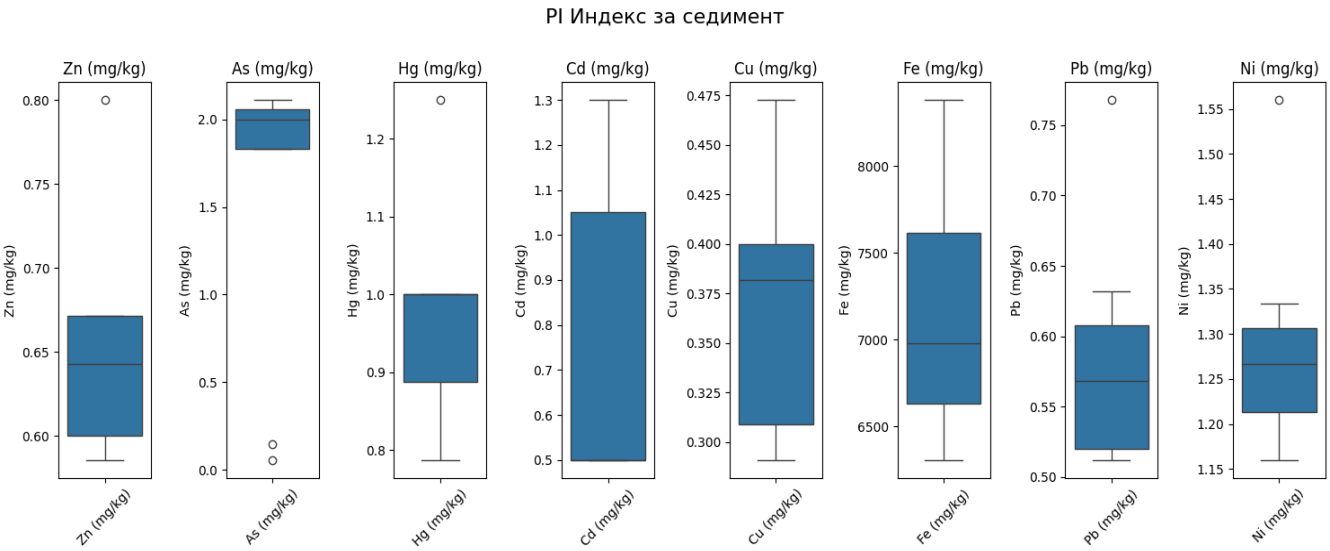
Табела 6.33. Класе загађења седимената ријеке Луче према вриједностима PI (извор: аутор)

Вриједности Pi индекса	Степен загађености	Hg	Zn	Cu	Pb	Ni	As	Cd	Fe
PI< 1	Незагађен	*	*	*	*				
1<PI<2	Слаб степен загађености					*		*	
2< PI<3	Умјерени степен загађености						*		
3< PI<5	Велики степен загађености								
PI> 5	Врло велики степен загађености								*



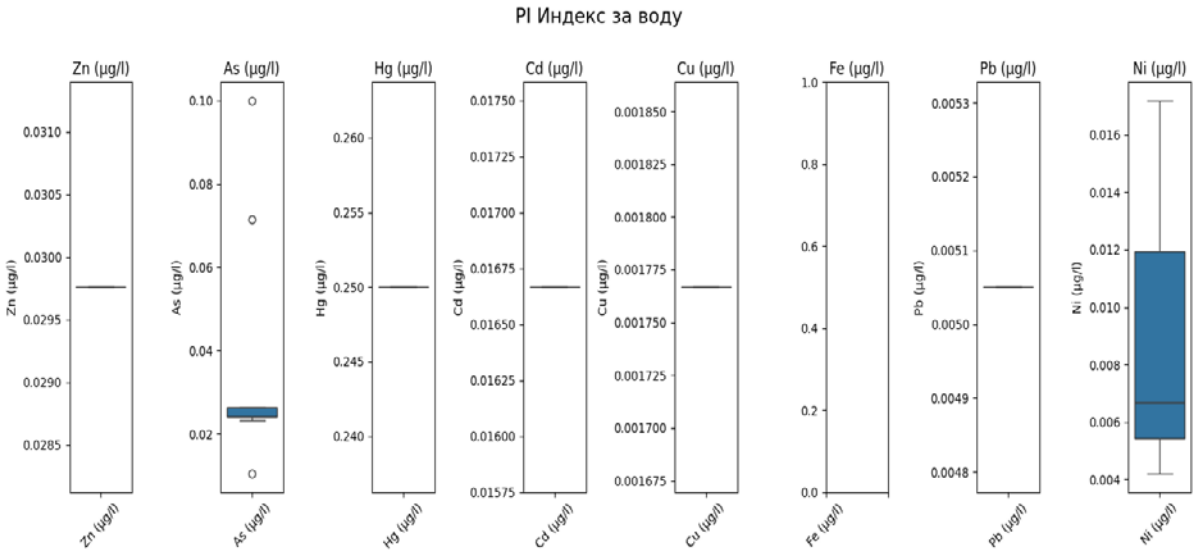
Слика 6.24. Појединачни индекс загађења гвожђем (PI)

За елементе цинк, бакар и олово утврђено је да сви анализирани профили (100%) припадају класи незагађених. У случају арсена уочена је изражена варијабилност по класама: 55% истраживаних локација сврстава се у класу умјереног степена загађености, док 22% припада класи незагађених, а преосталих 22% класи слабо загађених локалитета. Вриједности појединачног индекса загађености живом показују распон од незагађених земљишта (44%) до слабо загађених земљишта (55,55%). Насупрот томе, индекс за кадмијум показује да све анализиране локације (100%) припадају класи слабо загађених, што указује на низак степен еколошког ризика повезаног са овим елементом.



Слика 6.25. PI индекс проучаваних тешких метала у седименту ријеке Луче

Анализа појединачног индекса загађења (PI) указује на повишене вриједности индекса за гвожђе (Fe) у води ријеке Луче, док вриједности PI за остале анализиране тешке метале (As, Cd, Cu, Zn, Ni, Pb и Hg) указују на низак степен загађења, односно на концентрације које су углавном у оквиру природних вриједности. Резултати су приказани на Слици 6.26.



Слика 6.26. PI индекс проучаваних тешких метала у води ријеке Луче

Индекс оптерећења екосистема тешким металима (Pollution Load Index – PLI) представља интегрални показатељ који омогућава процјену општег степена загађења седимената више тешких метала у истом узорку (Harikumar et al., 2010). PLI индикатор (Табела 6.34) је користан за процјену стања екосистема и потенцијалне деградације земљишта, јер одражава комбиновани утицај свих анализираних метала на квалитет седимента и еколошку стабилност воденог система.

Табела 6.34. Класе загађења седимената ријеке Луче према вриједностима PLI

Класе	Вриједност	Степен загађења	Zn	Cu	Pb	Ni	Hg	As	Cd	Fe
1.	PLI < 1	Степен загађености								
2.	PLI 1	Степен погоршања квалитета земљишта	1.54	2.22	2.26	2.50	2.68	2.29	2.48	2.76

Вриједности PLI индекса за седименте ријеке Луче крећу се у распону од 1,54 до 2,76. Према класификацији PLI индекса, све анализиране локације припадају класи загађених седимената (PLI >1), што указује на кумулативни утицај више тешких метала у седименту.

Табела 6.35. Класификација загађења седимента према Немеровом индексу загађења

Класа Вриједности PI_N	Степен загађености	% од укуног броја локација
1. $PI_N \leq 0,7$	Нема загађења	-
2. $0,7 < PI_N \leq 1$	Подручје предострожности	88,89%
3. $1 < PI_N \leq 2$	Подручје слабог загађења	11,11 %
4. $2 < PI_N \leq 3$	Подручје средњег загађења	-
5. $PI_N > 3$	Подручје озбиљног загађења	-

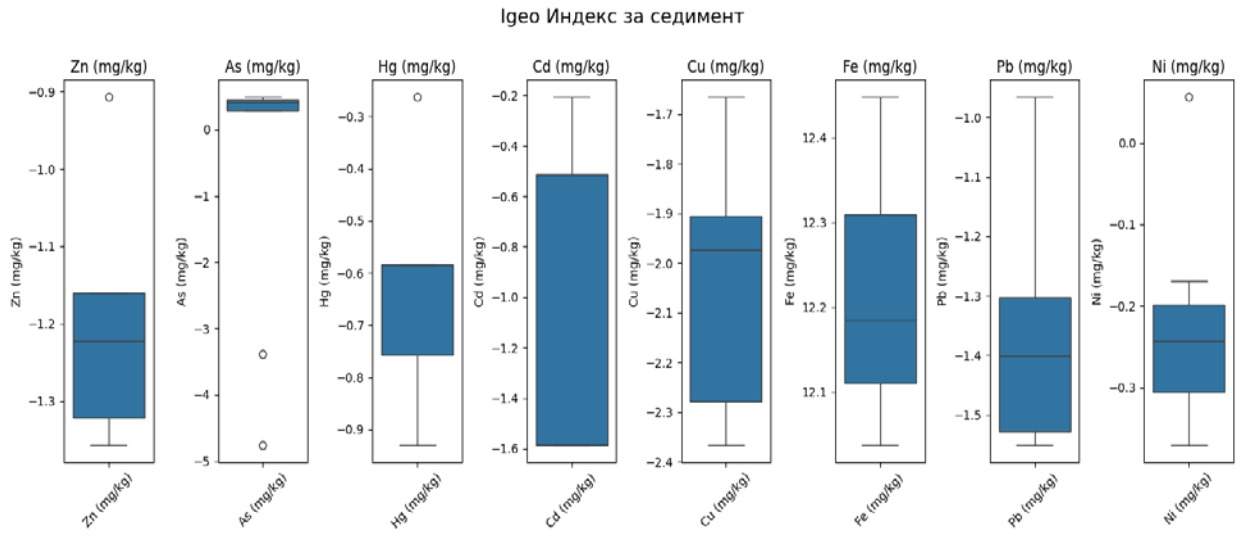
Немеров индекс загађења (Табела 6.35) представља заједнички индекс који показује утицај свих појединачних метала, преко појединачног индекса загађења (PI_N). Вриједности овог индекса се крећу у распону од 0.93 до 1.49 што указује да већина истраживаних локација припада подручју предострожности (88.89%), док мањи дио припада класи слабог загађења (11,11%). Према класификацији Немеровог индекса, већина анализираних локација припада подручју предострожности (88%), док мањи дио узорака припада класи слабог загађења (11%). Ови резултати указују да седименти углавном не показују значајан степен загађења, али поједине локације указују на почетне знакове повећаног оптерећења металима. На Слици 6.27. дате су вриједности Немеровог индекса загађења за седимент.



Слика 6.27. Вриједности PI_N за седимент

Графички приказ индекса (Слика 6.28) омогућава увид у варијабилност вриједности геоакумулационог индекса (Igeo) за поједине метале и њихов релативни допринос оптерећењу седимента. Анализа показује да гвожђе (Fe) има највеће концентрације међу анализираним елементима, што је очекивано с обзиром на његову природну распрострањеност у геолошкој подлози и седиментима. Метали као што су жива (Hg), кадмијум (Cd) и никл (Ni) показују извјесну варијабилност између појединих узорака, што може указивати на природне геохемијске разлике или ограничене антропогене утицаје. Са друге стране, цинк (Zn), бакар (Cu), олово (Pb) и арсен (As) углавном показују ниске вриједности индекса, што указује на релативно низак потенцијални ризик у већини узорака.

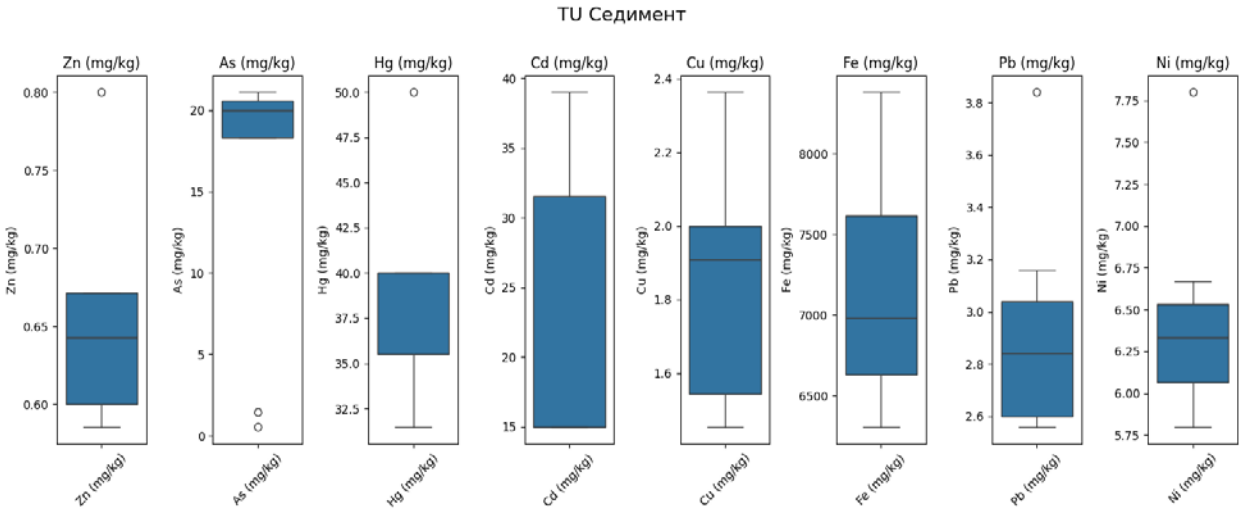
Вриједности геоакумулационог индекса (Igeo) показују да већина анализираних метала припада класи незагађених седимената (Igeo<0), док су код арсена (As) забиљежене вриједности у распону од -3,38 до 0,49, што указује на варијацију од незагађених до слабо загађених седимената (класа 0–1). Ови резултати указују да концентрације метала углавном одражавају природне геохемијске услове, уз локално ограничен антропогени утицај.



Слика 6.28. Igeo индекс проучаваних тешких метала у седиментима ријеке Луче

Потенцијална акутна токсичност тешких метала у седиментима ријеке Луче може се процјенити помоћу збира токсичних јединица (ΣTU), који представља однос концентрације метала и вриједности нивоа вјероватног ефекта (PEL). На основу приказаног boxplot графика (Слика 6.29) уочава се варијабилност концентрација појединих метала у седиментима. Гвожђе (Fe) показује највеће концентрације, што је очекивано с обзиром на његову природну

распрострањеност у геолошкој подлози, док остали метали (Zn, Cu, Pb, As, Hg, Cd и Ni) показују ниже концентрације, уз поједине узорке са повишеним вриједностима.



Слика 6.29. Потенцијална акутна токсичност тешких метала у седиментима ријеке Луче

Токсичне јединице тешких метала у седиментима ријеке Луче смањивале су се сљедећим редосљедом: Fe>Hg>Ni>Cd>Pb>Cu>As > Zn. Вриједности токсичних јединица за анализиране метале кретале су се у распону од 0,58 до 8,38. Сума токсичних јединица (ΣTU) већа је од 4, што указује на умјерену до високу потенцијалну токсичност седимента. Овај показатељ представља важан индикатор еколошког ризика и омогућава процјену утицаја тешких метала на водени екосистем ријеке Луче.

6.2.4.3. Мјере противерозионе заштите које имају имају ефекат на имобилизацију анализираних тешких метала

С обзиром на повишене вриједности индекса загађења и потенцијалног еколошког ризика у седиментима ријеке Луче, неопходно је спровођење мјера које имају за циљ смањење покретљивости и биодоступности тешких метала у воденом екосистему. Тешки метали нису разградиви, већ се могу само превести у стабилније, мање токсичне облике, због чега приоритет треба дати мјерама имобилизације. Фиторемедијација је еколошки прихватљива метода санације загађених екосистема која користи способност биљака да усвајају, акумулирају и стабилизују тешке метале, чиме се смањује њихова покретљивост и биодоступност у животној средини (Salt et al., 1998). Вегетација литоралне зоне Плавског

језера (Strateški plan razvoja Opštine Plav, 2013-2017), коју чине у *Phragmites australis* (трска), *Typha latifolia* (широколисни рогоз) и *Typha angustifolia* (усколисни рогоз), *Potamogeton* (мрестац) и врста *Myriophyllum spicatum* (класасти водени ресник), *Equisetum arvense* (пољска преслица), *Nymphaea alba* (бијели локвањ) представља природну биолошко-хидрауличку баријеру која значајно смањује унос тешких метала и ерозионих наноса у језеро. Значај макрофита проклетијских језера у процесима природне фитофилтрације и очувања квалитета воде истакли су и Blaženčić и Blaženčić (1994). Густа надземна и подземна биомаса успорава воду у зонама ушћа притока, чиме се омогућава таложење суспендованог материјала који често садржи Pb, Zn, Cu, Cd и Ni, па се оптерећење тешким металима задржава у приобалном појасу умјесто да доспије у пелагијалну зону. Развијен корјенов и ризомски систем, нарочито код трска и рогоза, механички стабилизује седимент и спречава ресуспензију већ акумулираних метала током појаве великих таласа и пораста водостаја. У ризосфери се повећава садржај органске материје која омогућава адсорпцију и комплексно везивање металних јона, чиме се смањује њихова покретљивост и биодоступност (Vymazal et al., 2010, Kadlec, Wallace, 2009, Bonanno, 2011). Потопљене макрофите директно усвајају растворене облике метала из воде, док плутајући листови локвања смањују продор свјетлости и кретање воде, чиме се додатно ограничава ремобилизација седимената (Brix, 1997). Због ових процеса литорална вегетација има двоструку функцију смањује ерозију и транспорт наноса, истовремено дјелујући као природни биофилтер за тешке метале и кључни елемент интегралне заштите Плавског језера. Поред тога у сливу ријеке Луче и осталих притока Плавског језера (Грнчар, Врује, Бијели поток и мањи бујични токови), у зони ријечних тераса, влажних ливада и рубова пољопривредних парцела природно расту легуминозне врсте попут *Vicia villosa*, представника рода *Trifolium* (дјетелине) и *Lotus ciliates* (Janković, 1972). Ове врсте имају изузетно значајну улогу у стабилизацији обалног појаса и смањењу уноса загађења у језеро.

У доњим дијеловима слива Луче, гдје су присутне оранице и ливаде, легуминозе формирају густ вегетациони покривач који дјелује као природни заштитни појас између пољопривредног земљишта и водотока. Њихов разгранат корјенов систем повезује честице земљишта, повећава његову кохезију и смањује спирање током интензивних падавина и бујичних епизода. На тај начин директно доприносе противерозионој заштити обала и ријечних тераса, смањујући транспорт суспендованог наноса према Плавском језеру и ублажавајући процес засипања језера.

Посебно важна функција ових легуминоза односи се на везивање и стабилизацију тешких метала у пољопривредним зонама. У агроекосистемима слива, метали као што су кадмијум (Cd), олово (Pb), цинк (Zn) и бакар (Cu) могу доспјети у земљиште путем минералних ђубрива, пестицида и сточарске производње. Кроз процес фитостабилизације, коријен адсорбује и задржава метале у ризосфери, смањујући њихово испирање према водотоку. Захваљујући симбиози са азотофиксаторским бактеријама (*Rhizobium)*, легуминозе повећавају садржај органске материје у земљишту, чиме се појачава његова способност за везивање металних јона и смањује њихова покретљивост (Felix, Phillips 2002, Alloway, 2013). Истовремено, смањењем ерозије спречава се механички транспорт честица земљишта на које су метали везани, чиме се умањује њихов унос у Лучу и даље у Плавско језеро.

Ефекат имобилизације значајно се појачава биолошком стабилизацијом обала. Садња врбе, тополе и друге хигрофитне вегетације у зони корита ријеке Луче повећава кохезију земљишта, јер корјенов систем веже честице муља и глине у компактну структуру и спречава њихову ремобилизацију у водени ток. Истовремено се повећава садржај органске материје, а хумусне материје формирају стабилне органо-металне комплексе, што представља вид фиторемедијације и додатно умањује биодоступност метала.

Примјена био-инжењерских мјера као што су фашине, врбови плетери и природне заштитне мреже смањује брзину струјања воде уз дно и омогућава таложење фине фракције седимента. Пошто је највећи дио тешких метала везан управо за ту фракцију, њено задржавање у стабилизованим зонама значи и задржавање метала изван водене суспензије. Сличан ефекат постиже се изградњом каскадних камених преграда у кориту ријеке Луче и притокама, јер се смањује енергија тока и долази до таложења фине фракције седимента на коју су адсорбовани тешки метали, па контаминирани материјал остаје фиксиран у таложним зонама и не транспортује се низводно.

Формирање плитких таложних зона на проширењима корита ријеке Луче и у зонама улаза притока додатно спречава ширење контаминираног материјала, док затрављивање и пошумљавање плавне равни задржава металима обогаћени муљ током поплава и спречава његов повратак у активно корито. Истовремено, смањење ерозије у сливу Луче пошумљавањем, уређењем пољопривредних површина и контролом депонија има превентивни значај, јер већина метала у водоток доспијева везана за честице земљишта, а не у раствореном облику. Противерозионе мјере стабилизују обале и таложне зоне, спречавају ремобилизацију муља и глине и тиме обезбјеђују имобилизацију метала, односно спречавају

њихов прелазак из седимента у воду и живе организме, чиме се значајно умањује ризик по водени екосистем и квалитет воде ријеке Луче.

7. ДИСКУСИЈА

Тежиште теме дисертације представља дефинисање модела интегралне противерозионе заштите непосредног окружења слива Плавског језера, на потезу од границе са Албанијом до Плава. У том контексту, спроведена истраживања усмјерена су на идентификацију критичних зона ерозије, анализу карактеристика наноса и процјену њиховог утицаја на стање водотока и процесе деградације животне средине.

Посебан акценат стављен је на слив ријеке Луче, као једног од најзначајнијих притока Плавског језера, гдје су извршена детаљна истраживања просторне расподјеле ерозије, физичких, хемијских и гранулометријских карактеристика наноса, као и потенцијалних екотоксиколошких ефеката присуства тешких метала у води и наносима.

Добијени резултати представљају основу за дефинисање мјера и концепта интегралне заштите, с циљем смањења ерозионих процеса, контроле транспорта наноса и очувања еколошког статуса Плавског језера и његовог сливног подручја.

Дефинисање промјена на сливу ријеке Луче извршено је кроз анализу теренских података и лабораторијских резултата, који обухватају: обилазак терена и узорковање седимената дуж тока ријеке, хемијску анализу воде и седимената на присуство осам тешких метала (As, Cd, Hg, Cu, Ni, Fe, Zn и Pb), гранулометријску анализу наноса, као и испитивање основних хемијских карактеристика земљишта (pH у H_2O и pH у 0,01 M $CaCl_2$). Узорци су узимани на више локација дуж тока ријеке, са лијеве и десне обале, ради обезбјеђивања просторне репрезентативности.

У раду су коришћени и постојећи подаци претходних истраживања, укључујући батиметријска и геодетска мјерења Плавског језера (2008. и 2017. године) и извјештај о стратешкој процјени утицаја на животну средину Просторно-урбанистичког плана општине Плав (2020 година). Комбинација ауторских и литерарних података омогућила је комплетну просторну и временску анализу ерозионих процеса, као и развој модела интегралне противерозионе заштите непосредног окружења слива Плавског језера од границе са Албанијом до Плава, који се базира на примјени биолошких, техничких и биотехничких мјера, уз коришћење GIS алата и процјену морфометријских показатеља.

Упоредна анализа резултата гранулометријског састава ријечног наноса ријеке Луче између студије из 2017. године (Студија ревитализација и заштите Плавског језера) и спроведених теренских и лабораторијских истраживања из 2025. године показује уочљиве разлике у

учешћу појединих фракција, али и континуитет основних седиментолошких карактеристика дуж тока.

Узорци из 2017. године указују на изражену гранулометријску неуједначеност дуж тока. На узводним локацијама (Мартиновићи) доминирају шљунковито–пјесковите фракције (40–50% шљунка, 30–40% пијеска), уз мањи удио прашине и глине (<10%). Ниже низводно, код Мартиновића језера и посебно при ушћу Шаркиновића у Плавско језеро, долази до постепеног смањења гранулометријског пречника низводно, тако да у завршним дионицама преовладавају пјесковите и прашкасте фракције (до 75–80% пијеска и 15–20% прашине и глине). Оваква појава јасно одражава хидродинамичку зонацију слива, гдје се смањењем брзине тока и нагиба акумулирају финији седименти. Насупрот томе, резултати из 2025. године указују на доминацију пјесковитог материјала у готово свим узорцима (90–99%), са минималним присуством шљунка (1–10%) и занемарљивим учешћем прашине и глине. Овакав састав свједочи о стабилним и хомогеним хидрауличким условима, гдје је транспорт наноса уједначен и углавном ограничен на вучени и суспендовании нанос средње гранулације. Средњи пречник зрна (d_{50}) и ниске вриједности коефицијента неједнородности (U=1–5) потврђују висок степен сортирања и униформност наноса.

Бухин (1972) истиче значај уважавања хетерогености честица наноса при анализи хидроморфолошких карактеристика ријечних корита, с обзиром да различите гранулометријске фракције имају различито понашање у процесима транспорта и таложења, што додатно потврђује значај добијених резултата о високом степену сортираности наноса у сливу. Према просторном распореду 2025. године, најфиније фракције се јављају ближе ушћу у Плавско језеро, што је очекивано усљед смањења нагиба и брзине тока, док узводније локације показују нешто веће учешће шљунковитих честица. Ова градација указује на постепену седиментациону транзицију из динамичнијег у мирнији хидролошки режим. Бочна ерозија и унос материјала са обала додатно утичу на гранулометријску варијабилност, али у ограниченом обиму.



Слика 7.1. Упоредни графички приказ гранулометријског састава ријечног наноса ријеке Луче (2017, 2025)

Педолошка анализа показује да у сливу доминирају смеђа земљишта на карбонатно-силикатној подлози, која чине највећи дио површине (око 54% у сливу Плавског језера и преко 90% у појединим притокама). Значајно су заступљена и врло слабо развијена земљишта на кречњацима, као и мање површине еродираних смеђих земљишта, делувијума и рендзина. Велики дио ових земљишта је плитак и подложан ерозији и површинском спирању. У алувијалним зонама дуж ријека Луче, Врује и Грнчара јављају се плоднија земљишта погодна за пољопривреду, али изложена повременим поплавама, док су у вишим дијеловима слива земљишта плића и ерозионо осјетљивија због стрмих нагиба, литолошке подлоге и антропогених утицаја.

Добијене pH вриједности (6,6–6,9 у H_2O) указују да земљишта у долини ријеке Луче имају изражен алкални карактер. Овакве вриједности су типичне за алувијална и еутрична хумусно-силикатна земљишта формирана на карбонатној подлози, што је у складу са геолошком грађом Плавско-гусињске котлине. Сличан pH опсјег (7,5–8,5) забиљежен је у алувијалним земљиштима динарског карста, посебно у сливу Лима и Таре (Кнежевић и Кошанин, 2007), као и у алувијалним терасама ријеке Дрине (Marković et al., 2012).

Систематским рекогносцирањем слива Плавског језера, које је обухватило подручје од Плава до државне границе са Албанијом, утврђен је изразито сложен морфолошки и хидролошки склоп са доминантним ерозивним процесима. Простор слива карактерише велика хетерогеност у геолошкој грађи, нагибима терена, густини хидрографске мреже и начину

коришћења земљишта, што условљава варијабилност ерозионог потенцијала по зонама. Најинтензивнији ерозиони процеси забиљежени су на подручјима Виситора, Липовице, Гребена и Бора, одакле потичу главни бујични токови који уносе значајне количине ерозионог материјала у ријеку Лучу и Плавско језеро.

Морфолошки посматрано, слив има јаке падинске нагибе (при чему преовлађују стрми терени са нагибима 27–70%) и кратке, стрме водотоке, што у комбинацији са ниском отпорношћу геолошке подлоге (флиш, кречњаци, шљунковити нанос) доводи до интензивног спирања и транспорта наноса. Латерална или бочна ерозија је доминантна у коритима ријека Луче и Грнчара, гдје је присутан процес меандрирања и поткопавања обала, док је у сливовима мањих потока (Радончића, Вишњевског, Кукића, Бијелог и Сулејмановог-Сејтовог потока) изражена површинска и браздаста ерозија са бујичним карактером токова. Ово резултира честим наношењем материјала у доње дијелове слива, што доводи до засипања југозападног дијела Плавског језера и постепеног формирања делте на ушћу Луче.

Анализа климатских елемената у сливу Плавског језера за период од 1966. до 2020. године указује на јасне сигнале климатских промјена који се манифестују кроз пораст средњих температура ваздуха, промјене у дистрибуцији падавина и повећање сезонске варијабилности климатских услова. Подаци добијени са метеоролошке станице у Плаву, која представља репрезентативну тачку за ово подручје, потврђују тренд загријавања карактеристичан за читав простор Проклетија и Горњег Полимља.

Слив Плавског језера карактерише високопланинска клима са израженом сезонском варијабилношћу. Према ранијим истраживањима (Joksimović, 2016), средње годишње температуре у периоду 1991–2013. године износиле су 9,0–10,3°C, што представља пораст од 1,4–3,0°C у односу на период 1961–1990. Анализа података са метеоролошке станице Плав за период 1966–2020. године показује да је просјечна годишња температура порасла са око 7,65°C (1966–1975) на приближно 9,85°C (2011–2020), односно за око 2,2°C. Пораст температуре утиче на смањење трајања снијежног покривача, промјену режима отицања и интензивирање ерозионих процеса у сливу.

Дугорочни режими температуре и падавина одражавају планински карактер слива и орографски утицај Проклетија. Површински отицај и велики годишњи прилив воде (734,1 милиона m^3) показују да слив представља климатски осјетљив и хидролошки динамичан систем, чија промјена има директан утицај на водни баланс, ерозију и могућности развоја туризма и пољопривреде. Резултати истраживања климе Црне Горе показују да су у другој

половини XX и почетком XXI вијека промјене годишњих количина падавина углавном мале и у већини случајева статистички незнатне, са благим просторним разликама између приморског и сјеверног дијела земље (Burić et al., 2011). Упркос томе, у посљедњим деценијама, нарочито у периоду од 1991-2008, уочава се тенденција благог пораста падавина на појединим станицама, што указује на високу варијабилност падавинског режима (Burić et al., 2011). Ови резултати потврђују да климатске карактеристике слива Плавског језера представљају дио ширег регионалног климатског система Црне Горе, у којем орографија и локални атмосферски процеси имају значајну улогу у формирању падавинског режима.

Анализа начина коришћења земљишта потврђује снажан утицај природних услова и људских активности на интензитет ерозионих процеса у сливу Плавског језера. Иако шумски екосистеми представљају доминантну категорију земљишног покривача и имају значајну заштитну улогу, њихова просторна структура указује на присуство деградационих процеса. Листопадне шуме покривају 40,1% површине слива, мјешовите шуме 5,3%, а четинарске шуме 1,9%, што укупно чини око 47,3% површине. Шуме представљају кључни стабилизатор терена јер смањују површинско отицање, повећавају инфилтрацију воде и штите земљиште од ерозије. Сличне резултате за слив Горњег Полимља наводи и Вујачић (2019), који истиче да шумски покривач има пресудну улогу у стабилизацији терена и регулисању хидролошког режима, док деградација шума директно појачава ерозионе процесе.

Међутим, прелазно шибље и деградиране шуме заузимају додатних 6,2% површине слива, што указује на изражен антропогени утицај кроз прекомјерну сјечу, неконтролисану испашу и деградацију шумског покривача. Ови процеси доводе до нарушавања заштитне функције вегетације, повећања површинског отицања и јачања ерозионих процеса, посебно на стрмим падинама.

Природни травњаци (11,1%) и пашњаци (2,2%) заузимају значајан дио простора, што одражава традиционалну сточарску оријентацију локалног становништва и дуготрајно коришћење високопланинских подручја за испашу. У појединим зонама интензивна и дуготрајна испаша доводи до деградације травног покривача, сабијања површинског слоја земљишта, смањења инфилтрације воде и повећања површинског отицаја. Као посљедица јавља се оголијевање земљишта и повећана ерозиона осјетљивост терена.

Посебно су значајне слабо обрасле површине које захватају 13,2% слива, као и голе стијене са 3,7%. Ове категорије представљају најосјетљивије зоне у погледу ерозионе активности, јер су карактерисане слабим или потпуно одсутним вегетационим покривачем, интензивним

механичким распадањем стијена и израженим денудационим процесима. У високопланинским дијеловима слива присутни су и глечери и вјечити снег (2,6%), који додатно утичу на специфичне облике ерозије и транспорта наноса. Упоредиви процеси забиљежени су и у сливу Дорјанског језера, гдје су промјене начина коришћења земљишта и деградација вегетационог покривача довеле до повећаног уноса наноса и појачане ерозије у приобалним и планинским зонама (Franckeet al., 2013).

Пољопривредне површине су релативно ограничене. Комплексни обрасци обраде земљишта заузимају 2,9%, док пољопривредно земљиште са значајним површинама природне вегетације обухвата 8,4% површине слива. Оваква структура потврђује неповољне природне услове за интензивну пољопривреду, прије свега због изражених нагиба, плитких и каменитих земљишта, као и ограничених равничарских површина.

У појединим подсистемима, попут слива Бијелог потока, доминирају ливаде (15,54%) и деградиране шуме (26,97%), што указује на изражен антропогени утицај и интензивно коришћење простора. Слични процеси уочавају се и у сливовима бујичних притока као што су Радончића, Вишњевски, Кукића и Сулејман-Сејтов поток, гдје значајан удио имају голети и деградиране шумске површине. Овакви резултати су у складу са истраживањима која указују да и релативно мале промјене у начину коришћења земљишта могу изазвати несразмјерно велике промјене у интензитету ерозије и продукцији наноса (Zorn et al., 2009).

Према подацима из студије ревитализације и заштите Плавског језера (2017) и извјештаја Хидрометеоролошког завода Црне Горе (2008), батиметријска и геодетска мјерења Плавског језера представљају најзначајнији извор података за праћење морфометријских и хидролошких промјена у језеру и његовом приобаљу. Анализом резултата из 2008. године, у поређењу са претходним истраживањима из 1970-их, утврђено је да је површина језера смањена за приближно 10% (са 199,0 ha на 179,5 ha), док је запремина смањена за око 17% (са 7.690.950 m³ на 6.325.445 m³). Ови подаци указују на интензивно засипање језерског басена, нарочито у приобалним зонама према ушћу ријеке Луче и извориште Лима, што се доводи у везу са дуготрајним уносом наноса из бујичних притока и постепеном акумулацијом.

Мјерења из 2017. године, спроведена ултразвучним дубиномјером Navisound 4215 уз коришћење GPS пријемника, потврдила су наставак процеса засипања и омогућила израду детаљнијег дигиталног модела терена (ДМТ) у програмском пакету GCM2013 (Институт за водопривреду Јарослав Черни, 2017). У односу на модел из 2008. године, нови модел карактерише већа густина профила и прецизнија линеарна интерполација између тачака, што

је омогућило реалнију реконструкцију морфологије језерског дна. Анализа подужних и попречних пресјека указује на изражене зоне насипања у подручју ушћа ријеке Луче и приобаља уз Лим, док у дубљим дијеловима није забиљежено значајно спуштање или деформација корита. Слична просторна расподјела акумулације наноса забиљежена је и у другим глацијалним и планинским језерима Европе, као што је језеро Штоил у масиву Родна у источним Карпатима (Румунија) и Каменитом језеру у Стјеновитим планинама Канаде, Ле Бурже, гдје истраживања показују да су најинтензивнији процеси седиментације повезани са зонама уноса материјала из сливног подручја и приобалним дијеловима језера, док дубљи дијелови басена показују релативно мање морфолошке промјене (Mîndrescu et al., 2010; Hassan et al., 2011; Arnaud et al., 2005). Оваква седиментолошка динамика у великој мјери одговара процесима који се уочавају и у Плавском језеру. У алпским подручјима Швајцарске и Аустрије истраживања су показала да језерски басени и долине представљају значајне зоне акумулације наноса који потичу из ерозионих процеса у планинским сливовима, при чему интензитет седиментације зависи од рељефа, литологије и климатских услова, као и од динамике глацијације и деглацијације током квартарног периода (Hinderer, 2001). Слични примјери значајне акумулације седимената у језерским басенима забиљежени су и у језеру Силваплана у швајцарским Алпима. Батиметријска и сеизмичка истраживања показала су да снажни сеизмички догађаји могу покренути велике количине наноса са стрмих падина језерског басена. Ти процеси доводе до клизања и транспорта седимената ка дубљим дијеловима језера, гдје се таложе у виду турбидитних наслага и формирају значајне акумулације (Bellwald et al., 2023). Иако је у Плавском језеру доминантан механизам акумулације повезан са уносом флувијалног и пролувијалног наноса, ова истраживања показују да су планинска језера уопштено веома осјетљива на различите природне факторе који могу довести до наглих промјена у седиментном билансу и морфологији језерског дна.

У Динарском карсту, упоредив процес забиљежен је у језерима Блед и Бохињ, гдје је утврђено да периферна акумулација наноса представља доминантан механизам постглацијалне еволуције језерских басена. У Бледском језеру ерозиони нанос углавном доносе потоци Мишца и Солзник, док је у Бохињском језеру главни извор наноса ријека Савица (Molnar et al., 1978). Истраживања у глацијалном језеру Ледро у италијанским Алпима, Женевском језеру (Girardclos et al., 2007), као и у Каменитом језеру у Стјенивитим планинама (Канада) (Schiefer et al., 2011) показују да се највећа акумулација јавља у делтама притока и приобалним зонама језера, док дубљи централни дијелови басена акумулирају финије ламиниране седименте. Ови процеси повезани су са интензивном ерозијом у сливу и бујичним поплавама које транспортују велике количине материјала у језерски басен (Simonneau et al.,

2013). У језеру Волви, другом по величини природном језеру у Грчкој, гдје су у посљедњих 60 година забиљежени процеси засипања, примјена Гавриловићевог модела показала је да је повећање шумског покривача за око 6% довело до смањења просјечне годишње седиментације за 15% и стопе алувијације за чак 50%, што указује на кључну улогу вегетације у контроли ерозионих процеса (Kastridis, Kamperidou, 2015). Аналогни процеси уочени су и у језеру Линганор (САД), гдје су батиметријска истраживања и анализа седимената показали да је у периоду од око 40 година дошло до значајне акумулације наноса и губитка око 65% укупног водног капацитета језера (Andrew et al., 2012).

Ово потврђује да процеси маргиналног насипања представљају типичан еволуциони образац глацијалних и тектонско-карстних језера у условима умјерене хидродинамичке активности.

Акумулација наноса у плићим дијеловима језера током ниских водостаја повезана је са гранулометријским карактеристикама материјала који уносе притоке, прије свега Луча, Вишњевски и Радончића поток, са доминантним учешћем пјесковите фракције (95–99%). Слична ситуација описана је и код језера у Јужним Карпатима, гдје су током посљедњих двије стотине година забиљежене повећане стопе седиментације услед сезонских промјена протока и постепеног стабилизовања рјечних корита (Begy et al., 2024). На основу наведених података, може се закључити да је седиментациони процес у Плавском језеру у великој мјери контролисан хидродинамичким условима у ушћима и сезонским варијацијама протока воде, при чему се стопа губитка запремине (око 17% за четири деценије) налази у опсјегу сличних глацијално-тектонских језера у средњој Европи. За разлику од појединих језера у Централној Италији, гдје је изгубљено више од 70% капацитета услед интензивног уноса ерозионог материјала (Bufalini et al., 2022), Плавско језеро показује умјеренији, природнији и стабилизован морфодинамички развој.

Геолошка грађа слива Плавског језера одликује се значајном литолошком разноврсношћу која обухвата палеозојске, мезозојске и квартарне формације. Највећи дио слива изграђен је од карбонатних стијена (44,4%), које карактерише развијен карстни рељеф и висока инфилтрација, што смањује површинско отицање. Квартарни седименти (38,5%), настали током глацијалних и флувиоглацијалних процеса, слабо су консолидовани и представљају значајан извор ерозионог материјала. Флишни комплекси (8,7%), изграђени од пјешчара, лапораца, шкриљаца и глина, одликују се мањом отпорношћу на денудационе процесе, због чега су подложни интензивнијој ерозији и транспорту наноса. Магматско-метаморфне стијене (8,3%) утичу на морфолошку стабилност терена. Значајни седиментациони процеси

најизраженији су у долинама притока, гдје алувијални и језерски седименти представљају нестабилне геолошке формације подложне ерозији.

Спроведене хидролошке анализе ријеке Лим, указују на стабилан, али хидролошки осјетљив систем у којем сезонска динамика протицаја има пресудан утицај на морфологију и транспорт наноса**.** Двомодални режим ријеке Лим, са израженим пољећним максимумом условљеним топљењем снијега и секундарним јесењим максимумом повезаним са повећаним падавинама, одговара плувио-нивалном типу режима карактеристичном за планинске сливове Динарског система (Dukić, Gavrilović 2006).

Анализа повратних периода показује да се карактеристичне мале воде на профилу ХС Плав најчешће јављају у распону од 2 до 5 година, док се изразито ниски протицаји (око 1,2–1,6 m^3/s) могу очекивати у сушним периодима са повратним периодом од приближно 20 година. Резултати тестова сагласности показали су да различите серије минималних протицаја најбоље описују различите теоријске расподјеле. За једнодневне и тридесетодневне минималне протицаје најбоље се показала лог-нормална расподјела, док је за десетодневне минимуме и мјесечне минималне протицаје најпогоднија GEV расподјела, а за двадесетодневне Пирсонова расподјела типа III. Анализа максималних годишњих протицаја на хидролошкој станици Плав за период 1948–2023. године показала је да се велике воде јављају релативно ријетко и да су повезане са великим повратним периодима. Највећи осмотрени протицај од 330 m^3/s налази се у зони мале вјероватноће појаве (око 1–2%), што одговара повратном периоду од приближно 50–100 година. На основу усвојене GEV расподјеле могуће је поуздано процјењивати протицаје за различите повратне периоде великих вода, што је од посебног значаја при пројектовању хидротехничких објеката, процјени ризика од поплава и управљању водним ресурсима.

Добијени резултати анализе садржаја тешких метала показују да су концентрације већине испитиваних метала у води ријеке Луче испод граничних вриједности прописаних националним и међународним стандардима. Најзаступљенији метали били су никал и арсен, али су њихове концентрације, као и концентрације осталих анализираних метала (кадмијум, бакар, жива, цинк, олово и гвожђе), биле испод референтних или дозвољених граница, што указује на ограничен антропогени утицај у сливу. Када је у питању арсен (As), резултати Пивића и сарадника (2017) указују на мале концентрације овог елемента у води ријеке Тимок, углавном изнад минимално дозвољених концентрација. Истраживања Dević et al., (2015) показују повећан садржај As (0,2–14,4 μg/L) у појединим водама Србије. Према истраживању из 2015. године, у води ријеке Лим забиљежене су веома ниске концентрације арсена (<0,01

μg/L) током сва четири годишња доба што је у сагласности са утврђеним вриједностима за ријеку Лучу. Што се тиче никла (Ni), Čakmak et al., (2018) утврдили су мале концентрације овог метала у водама Колубаре, док Бикић (2013) током истраживања квалитета површинских вода у ријеци Босни узводно и низводно од индустријског комплекса „ArcelorMittal Zenica“ није детектовао значајно повећане концентрације никла (0,30–0,87 μg/L). Добијени резултати су у сагласности са резултатима утврђеним у ријеци Лучи. Чипев (2006) је анализирао концентрације тешких метала у површинским водама Бугарске и утврдио да су концентрације никла у природним условима ниске и најчешће представљају геохемијску позадину (Ni = 0,0057 ± 0,01812 μg/L). Насупрот томе, Девић (2015) наводи да је садржај никла у појединим ријекама Србије (48% испитиваних локалитета – Дрина, Сава, Тиса, Тамиш и Топчидер) повећан: 1–163,90 μg/L), што указује на погоршање квалитета воде и могућ утицај антропогених фактора. Према подацима националног мониторинга Агенције за заштиту животне средине Републике Србије (2023), повећане концентрације раствореног никла (Ni) у површинским водама евидентиране су на више мјерних станица на ријеци Дунав, укључујући Бачку Паланку и Банатску Паланку. Концентрације никла пронађене у ријеци Лучи биле су ниже у поређењу са вриједностима утврђеним у ријекама Грљи (<2 μg/L), Врујци (<2 μg/L) и Лиму на извору (11,3 μg/L), као и на осталих пет локација у општини Плав током истраживања које је 2017. године спровео Институт „Јарослав Черни“. Такође, концентрације никла измјерене у ријеци Лучи 2025. године биле су ниже у односу на концентрације утврђене у Врујци (5,06 μg/L), Грнчару (5,35 μg/L), Лиму на двије локације (Л1 – 5,49 μg/L; Л2 – 4,63 μg/L), Алипашиним изворима (5,16 μg/L) и Оку Скакавице (4,63 μg/L) током истраживања у априлу 2018. године. Ове разлике могу бити повезане са сезонским факторима, јер се у пролећном периоду јављају интензивније пољопривредне активности, као и већи туристички притисак на простор слива.

С друге стране, повећане концентрације арсена у узорцима седимената (узорци од 2-9), које прелазе PEL вриједности према канадским смјерницама, указују на потенцијалне еколошке ризике и потребу за даљим мониторингом. Истовремно концентрације никла у седименту (87–119 mg/kg) премашују националне лимите (Службени гласник Републике Србије број 50/2012), што указује на умјерену до повећану акумулацију, највјероватније геогеног поријекла. Слични процеси забиљежени су и у другим планинским сливовима (ријека Драговштица у Бугарској), гдје је обогаћење седимената повезано са распадањем ултрабазичних и серпентинизованих стијена богатих никлом и хромом (Stoilkova et al., 2019). Остали метали су били испод детекционих или референтних граница, што потврђује очуваност воденог екосистема и одсуство активних извора индустријског загађења.

Просторна расподјела концентрација метала указује да се њихова акумулација повећава у дијеловима водотока ближим ушћу у Плавско језеро. Гвожђе је доминантан метал у седименту, са концентрацијама изнад канадских и националних граница, што је очекивано за сливове са високим садржајем силикатних и глиновитих материјала.

Према истраживању Института „Јарослав Черни“ (октобар 2017, април 2018), које је обухватило анализу седимента (у оквиру Студије о ревитализацији и заштити Плавског језера), концентрације тешких метала у седименту Плавског језера износиле су: гвожђе 27.571–35.367 mg/kg, цинк 94,7–101,6 mg/kg, никал 82,6–102,1 mg/kg, олово 0,1–3,2 mg/kg, бакар 40,7–50,2 mg/kg, жива 0,1–0,4 mg/kg, кадмијум 1,3–1,45 mg/kg и арсен 8,4–12 mg/kg. Поређењем са међународним смјерницама за квалитет седимента може се закључити да су концентрације никла (Ni), хрома (Cr) и кадмијума (Cd) повишене у односу на препоручене референтне вриједности, док су вриједности осталих метала углавном у оквиру дозвољених граница. Посебно су уочене повишене концентрације никла у узорцима из 2018. године (до 179,2 mg/kg), што указује на потенцијални утицај геолошке грађе слива, али и на транспорт ерозионог материјала из притока које се уливају у Плавско језеро. Слично истраживањима у Кини, гдје су усљед интензивних антропогених активности и изражених ерозионих процеса забиљежене повећане концентрације тешких метала у земљишту, при чему се Cd и Hg издвајају као најзначајнији индикатори загађења и ризика по животну средину (Chen et al., 2015).

Према вриједностима концентрационог фактора (CF), најизраженије повећање концентрација уочено је за арсен (CF до 2,11) и никал (CF до 1,56), што указује на умјерен степен обогаћења овим елементима и могућ антропогени утицај у сливу. За живу и кадмијум забиљежене су вриједности CF нешто веће од 1 (Hg до 1,20; Cd до 1,30), што указује на слабо до умјерено повећање концентрација у односу на природну позадину. Остали елементи (Zn, Cu, Pb и Fe) имају CF<1, што указује да њихове концентрације углавном одражавају природно геохемијско поријекло седимента. Резултати EF индекса показују да седименти ријеке Луче углавном нијесу значајно обогаћени тешким металима, док повишене вриједности за арсен указују на потенцијални антропогени утицај у сливу.

У цјелини посматрано, седименти ријеке Луче могу се окарактерисати као ниско до умјерено контаминирани, са благо израженим обогаћењем арсена и никла. Слично томе, испитивања седимената Измитског залива у Турској показала су да су арсен, кадмијум, олово и цинк највише обогаћени елементи у седиментима, док се баријум, кобалт, хром, бакар, гвожђе, магнезијум, молибден и никал налазе на нивоу природне позадине, што указује да As, Cd и Pb

представљају главне антропогене загађиваче, док Fe и Mn углавном одражавају природну геохемијску позадину седимента (Pekey, 2006). У ријечним седиментима ријеке Тигар утврђене су врло високе вриједности фактора контаминације (CF>6) за Co, Cu и Zn, што указује на јаку контаминацију. Средње вриједности фактора обогаћења (EF>1,5) указују на доминантан антропогени утицај, при чему су PCA/FA анализа и кластер анализа показале да метали потичу из антропогених ивора, прије свега од испуста из постројења рудника бакра (Varol, 2011). Истраживања седимената ријеке Тисе у Србији показала су да су у главном току ријеке забиљежене повишене вриједности фактора обогаћења (EF) за Cu, Pb и Zn, што указује на умјерено обогаћење и утицај урбаних и индустријских извора, док у притокама и околним барама нису утврђени значајни знаци загађења (Sakan et al., 2009).

Према класификацији PLI индекса, вриједности веће од 1 указују на присуство загађења, што значи да анализирани седименти показују кумулативни утицај више тешких метала. Највеће вриједности PLI забиљежене су за Fe (2,76) и Hg (2,68), док су нешто ниже вриједности утврђене за Ni (2,50), Cd (2,48), As (2,29), Pb (2,26), Cu (2,22) и Zn (1,54). Добијени резултати указују да седименти ријеке Луче показују умјерен степен оптерећења тешким металима, при чему се гвожђе и жива издвајају са највишим вриједностима PLI индекса. Сличан образац забиљежен је и у естуару ријеке Јангцекјанг и Ал-Кафџи у Арабијском заливу, гдје су повишене PLI вриједности и највећи допринос укупном загађењу потицали првенствено од Cd и Hg, а већина локалитета показивала је благ до умјерен степен загађења, што потврђује да се ови елементи најчешће издвајају као кључни носиоци контаминације у ријечним и естуарским седиментима (Wang et al., 2017; Al-Kahtany et al., 2024).

На основу Хакасоновог модела (Hakanson, 1980), већина метала припада категорији ниског потенцијалног еколошког ризика (E_r^i<40), али су Fe, Hg и Cd оцијењени као елементи са умјереним до високим ризиком. Укупни индекс ризика (RI) варира од 284,96 до 385,08, што означава висок потенцијални ризик, при чему су најугроженије локације 2, 8 и 9.

Редослед утицаја метала на укупни ризик је: Fe>Hg>Cd >Ni>Pb>Cu > Zn>As.

У седиментима ријеке Саве утврђене су вриједности RI које углавном одговарају ниском еколошком ризику, при чему највећи допринос дају Cd и Hg (Marković et al., 2018). Истраживања на ријеци Тиси у Србији показала су да укупни ризик варира од ниског до умјереног, али да Cd доминантно учествује у формирању RI (Sakan et al., 2009). Упоредиви резултати добијени су и у европским ријечним системима, гдје се већина метала налази у категорији ниског ризика, док Cd и Hg најчешће одређују укупни еколошки ризик седимената

(Hakanson, 1980). Слична примјена Hakanson-овог индекса у ријечним седиментима показала је да вриједности RI у опсегу умјереног до високог ризика најчешће настају услед повећаних концентрација Cd и Hg, док остали метали углавном имају мањи допринос укупном ризику (Zhang et al., 2011).

Вриједности Igeo показују да је гвожђе једини елемент који спада у категорију јаких и врло јаких загађивача, док су сви остали метали у оквиру класе незагађених седимената. Ово упућује да је присуство Fe доминантно природног поријекла, али у појединим локацијама може бити појачано локалним антропогеним активностима. Müller (1969), на основу испитивања седимената ријеке Рајне, указује да гвожђе углавном одражава природну геохемијску позадину, док Hakanson (1980), развијајући модел потенцијалног еколошког ризика на језерским седиментима, Cd и Hg издваја као елементе са највећим еколошким значајем и показатеље антропогеног оптерећења. Сличне резултате показују и истраживања у естуару ријеке Јангцекјанг, гдје Pb и Cr нијесу показали загађење (Igeo<0), док је већина узорака за Ni, Zn и Cu такође је била у класи незагађених седимената. Насупрот томе Cd и Hg су указивали на благ до умјерен степен загађења, што их издваја као главне индикаторе савременог антропогеног утицаја у седиментима (Wang et al., 2017). Индекс геоакумулације потврђује да је Cd најзначајнији загађивач, са вјероватноћама умјереног, умјерено до јаког и јаког загађења од 53,6%, 34,9% и 18,7% (Niu et al., 2020). Поред процјене степена загађења, индекси EF и Igeo имају значајну улогу у анализи ерозионих процеса и транспорта седимената, јер омогућавају разликовање природног геохемијског материјала од антропогено унесених компоненти, што је од кључног значаја за разумијевање извора наноса и интензитета ерозије у сливним подручјима (Barbieri et al., 2016).

Збир токсичних јединица (ΣTU) у седиментима ријеке Луче већи је од 4, што указује на умјерен до повишен потенцијални токсични утицај седимената на водени екосистем. Вриједности токсичних јединица за појединачне метале кретале су се у распону од 0,58 до 8,38, при чему највећи допринос укупној токсичности дају гвожђе (Fe) и жива (Hg), док остали метали имају знатно мањи утицај.

Анализа Пирсоновог коефицијента корелације указује на више статистички значајних позитивних веза између појединих тешких метала у седиментима ријеке Луче, што упућује на њихов заједнички транспорт и акумулацију унутар истих седиментних фракција. Значајне корелације између Zn–Cd ($r=0,684$; $p=0,042$), Cd–Pb ($r=0,669$; $p=0,049$) и Zn–Ni ($r=0,744$; $p=0,022$), као и снажне повезаности у групи Cu–Ni–Pb (Cu–Ni: $r=0,920$; $p < 0,001$; Ni–Pb: $r=0,854$; $p=0,003$; Cu–Pb: $r=0,818$; $p=0,007$) и Hg–Pb ($r=0,795$; $p=0,010$), указују на њихово заједничко

везивање за фине седиментне фракције које се у водоток уносе ерозијом и површинским отицајем у сливу ријеке Луче. Супротно томе, арсен (As) није показао статистички значајне корелације са осталим металима, што указује на могуће различито геохемијско поријекло.

Резултати прорачуна продукције и проноса наноса у сливу Плавског језера, добијени примјеном методе потенцијала ерозије (МПЕ) у истраживању из 2025. године, показују да слив карактерише слаб степен ерозије, са израженим разликама између појединих притока. Репрезентативна вриједност коефицијента ерозије за цио слив износи Z=0,36, што одговара условима слабе ерозије и указује на доминацију дифузног површинског спирања и постепене денудације падина. Укупна годишња продукција ерозионог материјала износи Wgod= 274.562,62 m^3/god, док пронос наноса достиже Ggod=178.465,71 m^3/god, што показује да се дио произведеног материјала транспортује ка језеру. Коефицијент транспорта наноса (Ru=0,65) указује на умјерен степен хидролошке повезаности падина и водотока. Слична истраживања у планинским сливовима Црне Горе, примјеном Гавриловићеве методе, показала су нешто веће вриједности коефицијента ерозије. Тако су Spalević et al. (2015) у сливу Карличице добили вриједност Z=0,469, што одговара средњој ерозији и доминацији површинских ерозионих процеса. У поређењу са тим сливом, слив Плавског језера показује стабилније ерозионе услове и мањи интензитет деградације земљишта. Упоредиви резултати добијени су и у планинским сливовима Карпатског система у Румунији, гдје је примјеном IntErO/EPM модела, заснованог на Гавриловићевој методи, утврђен слаб интензитет ерозије (Z=0,211) и доминација површинске ерозије (Sestras et al., 2023). У тим сливовима, као и у сливу Плавског језера, значајан дио произведеног наноса остаје депонован унутар слива, што указује на умјерен степен транспорта наноса и релативно стабилне ерозионе услове.

Поређење са резултатима истраживања Института „Јарослав Черни“ (2017) показује извјесна одступања у процјени укупног степена ерозије. У том истраживању утврђен је коефицијент ерозије Z=0,56, што указује на средњи степен ерозије. Према тим резултатима, у сливу Плавског језера доминирају II и III категорија ерозије, које заузимају око 75% укупне површине, углавном у горњем дијелу слива, док IV и V категорија обухватају мањи, али морфолошки значајан дио територије у равничарском дијелу слива. Мања вриједност коефицијента ерозије у овом истраживању (Z=0,36 у 2025. години) може се дјелимично објаснити промјенама у начину коришћења земљишта и смањењем антропогеног притиска на простор слива. Наиме, пад броја становника у општини Плав (са 13.108 становника према попису 2011. године на 9.050 становника према попису 2023. године) довео је до смањења интензитета пољопривредних активности и притиска на шумске и пашњачке површине, што

је омогућило постепену природну стабилизацију дијела падина и смањење интензитета ерозионих процеса у сливу. У Табели 7.1 дат је збирни приказ коефицијента ерозије, продукције и проноса наноса за сливове притока Плавског језера за период 2017 и 2025. година.

Табела 7.1. Збирна табела коефицијента ерозије, продукције и проноса наноса за сливове притока Плавског језера (2017 и 2025. година)

Притока	Z (2017)	Wgod 2017 (m^3/god)	Wsp 2017 (m^3/km^2/god)	Ggod 2017 (m^3/god)	Gsp 2017 (m^3/km^2/god)	Wgod 2025 (m^3/god)	Wsp 2025 ($m^3/km^2/god^{-1}$)	Ggod 2025 (m^3/god)	Ggodsp 2025 ($m^3/km^2/god^{-1}$)	Z (2025)
Луча	0,36	417.803	1.381	284.658	941	275.895,39	911,87	162.778,28	538,00	0,36
Грнчар	0,28	186.048	1.334	143.405	1.028	84.389,56	605,16	48.102,05	344,94	0,28
Врућа	0,68	198.371	1.711	165.362	1.426	195.619,83	1.687,11	158.452,53	1.366,56	0,55
Бијели поток	0,57	12.048	3.887	9.721	3.136	566,66	139,34	339,08	83,38	0,10

За слив Луче, истраживање из 2017. године показало је продукцију Wg=417.803 m^3/god и пронос Gg=284,658 m^3/god, уз Z=0,59. Резултати из 2025. године указују на мањи коефицијент ерозије (Z=0,28) и ниже количине продукције и проноса (Wgod=275.585,39 m^3/god и Ggod= 162.778,28 m^3/god). Мањи Z у новијем истраживању може указивати на стабилније површине и повољнији вегетациони покривач, али у оба истраживања Луча остаје један од главних извора наноса због велике површине слива и директног утицаја на приобалну зону језера. Резултати добијени у овом истраживању показују добру сагласност са истраживањима малих бујичних сливова у региону. Спалевић и сарадници су за слив Бијелог потока (2013) утврдили реалне губитке земљишта од 612 m^3/god (211 $m^3/km^2/god^{-1}$), што је веома блиско резултатима добијеним у овом раду (566,66 m^3/god и 139,34 m^3/km^2/god). Сличне вриједности и закључке о интензитету ерозије у сливу Бијелог потока наводе и Gruban et al. (2018), који примјеном МПЕ имплементираног кроз IntErO софтвер указују на релативно слаб интензитет ерозије упркос израженим нагибима и густој хидрографској мрежи, наглашавајући значај геолошке подлоге и вегетационог покривача као кључних контролних фактора. Према Станковићу (1968) материјал који транспортује овај поток таложи се у зони ушћа и сужава корито Лима, што током високих водостаја доводи до успоравања отицања и повећања нивоа воде у Плавском језеру.

Упркос разликама у апсолутним вриједностима продукције и проноса наноса, оба истраживања потврђују исту хидролошко-геоморфолошку закономјерност: највећи унос наноса у Плавско језеро потиче од бујичних притока са са израженим преношењем ерозионог материјала, прије свега Врује, док Грнчар и Луча обезбјеђују континуиран, али умјерен транспорт материјала.

Теренска запажања потврђују присуство јаружасте и латерлане или бочне ерозије, нарочито у зонама Вељег потока, Радончића и Кукића потока. Ободне зоне показују знакове деградације шумског покривача, што директно повећава еродибилност падина и активира секундарне процесе (сипари, одрони, клизишта). Најизраженија латерална ерозија евидентирана је дуж ријеке Луче, са више локалитета рушевних обала дужине 30–300 m, што указује на хидраулички активан режим тока. Ерозиони режим у сливу Бистричице показује карактеристике типичне за високопланинске бујичне системе и јасно се издваја по интензитету у односу на остале притоке Плавског језера. Комбинација велике висинске разлике, стрмих падина и ограниченог вегетационог покривача доводи до развоја површинске, жљебасте и јаружасте ерозије. Оваква морфолошка структура ствара услове у којима се нанесени материјал брзо мобилише и преноси низ ток.

На основу истраживања сливова Полимља које је спровео Spalević (2011), утврђено је да се стварни губици земљишта у анализираним сливовима најчешће крећу у распону од око 36,98 до 296,41 $m^3/km^2 \cdot god^{-1}$, при чему су највеће вриједности забиљежене у сливу Величке ријеке (296,41 $m^3/km^2 \cdot god^{-1}$). У поређењу са тим резултатима, добијена вриједност за слив Бистричице (Wsp=1.013,46 $m^3/km^2 \cdot god^{-1}$, уз укупну продукцију Wgod=12.414,93 m^3/god и пронос Ggod=10.632,23 m^3/god) значајно је већа од вриједности утврђених у анализираним сливовима Полимља. Ово указује да се Бистричица, по интензитету ерозионих процеса и продукцији наноса, издваја као изразито активан бујични слив са наглашеним ерозионим процесима у односу на већину притока у овом региону.

Супротан примјер представља Радончића поток (Z=0,08; Wsp=94,16 $m^3/km^2 \cdot god^{-1}$), чије су вриједности упоредиве са стабилизованим шумским сливовима у горњем току Лима, посебно дијеловима слива Навотински поток, који према вриједности коефицијента ерозије Z (0,01–0,19) припада V категорији разорности, односно подручјима са врло слабом ерозијом и углавном присутним траговима ерозионих процеса. Слично важи и за Вишњевски поток (Z= 0,09; Wsp=112,35 $m^3/km^2 \cdot god^{-1}$), који показује карактеристике стабилног планинског микрослива. Аналогне вриједности забиљежене су и у истраживању Spalević et al. (2016) за слив Новшићког потока (Z=0,222; Wsp=109,20 $m^3/km^2 \cdot god^{-1}$), који, иако се одликује израженим нагибима и високим енергетским потенцијалом рељефа, припада IV–V категорији разорности, односно подручјима са слабом до врло слабом ерозијом

Резултати прорачуна продукције наноса и интензитета ерозије за мање притоке Плавског језера показују да се у микросливовима јасно уочава зависност између коефицијента ерозије (Z) и специфичне продукције наноса (Wsp), али да та зависност није потпуно пропорционална. Слична појава утврђена је и у истраживањима малих бујичних сливова у сливу Лима, гдје су анализиране бројне планинске притоке као што су Бистрица (код Бијелог Поља), Љешница, Злоречица, Шекуларска ријека, Калуђерска ријека, Бабинопољска ријека и Грачаница. У тим истраживањима показано је да у малим планинским сливовима просјечан коефицијент ерозије често не одражава директно количину произведеног материјала, већ пресудну улогу има расподјела активних ерозионих зона и морфометрија терена.

Ова појава се уочава и у сливу Кукића потока. Иако је Z=0,17 (врло слаба ерозија), специфична продукција достиже Wsp=291,67 $m^3/km^2 \cdot god^{-1}$. Слични односи забиљежени су у сливовима Кривачког потока (77,15 $m^3/km^2 \cdot god$) и Трепчанске ријеке (Z=0,17) у долини Лима (Spalević, 2011).

Мартиновићки поток (Z=0,26; Wsp=551,66 $m^3/km^2 \cdot god^{-1}$) и Бјелићки поток (Z=0,27; Wsp=583,79 $m^3/km^2 \cdot god^{-1}$) показују релативно добру усклађеност између степена ерозије и продукције ерозионог материјала. Сличне појаве забиљежене су и у сливу Калиманске ријеке у јужној Србији, гдје је након спроведених мјера противерозионе заштите утврђен коефицијент ерозије Z=0,36, што одговара категорији слабе ерозије (Ristić et al., 2012). У Табели 7.2. је дат збирни преглед продукције и проноса наноса за сливове притоке Плавског језера.

Табела 7.2. Збирна табела резултата продукције и проноса наноса за сливове притока Плавског језера (2025 година)

Слив/поток	Z	Wgod (m³/god)	Wsp (m³/km²·god⁻¹)	Ggod (m³/god)	Ggodsp (m³/km²·god⁻¹)	Wwn (m³/god)	Wsn (m³/god)
Кукића поток	0,17	1.204,58	291,67	820,40	198,65	49,97	770,44
Мартиновићки поток	0,26	5.466,95	551,66	4.081,93	411,90	380,24	3.701,68
Радончића поток	0,08	245,75	94,16	133,99	51,34	3,84	130,15
Бјелићки поток	0,27	5.592,71	583,79	4.080,70	425,96	394,75	3.685,95
Бистричица	0,39	12.414,93	1.013,46	10.632,23	867,94	1.485,63	9.146,60
Вишњевски поток	0,09	406,71	112,35	230,48	63,67	7,43	223,05
Доља	0,42	43.315,47	1.113,16	34.093,43	876,17	5.071,38	29.022,05

Резултати анализе динамике наноса у Плавском језеру у периоду 2008–2017. године указују на изражене процесе седиментације који су последица комбинованог утицаја морфолошких, хидролошких и антропогених фактора у сливу. Уочено смањење запремине испод коте 906 m за приближно $0{,}4\times10^{6}$ m³ потврђује континуирани процес акумулације наноса, посебно у приобалним и уливним зонама. Годишња стопа таложења од око $4{,}4\times10^{4}$ m³/god, односно просјечна дебљина седимента од приближно 8–9 cm/god у плитким зонама, указује на интензиван унос еродованог материјала из притока и околних бујичних токова.

Просторна расподјела седиментације показује да се највеће дебљине наноса (0,8–1,0 m) јављају у југозападном и сјеверозападном дијелу језера, односно у зонама улива главних притока, што је типичан морфолошки одговор затвореног воденог система на повећан седиментни унос. Централни дијелови језера карактеришу мање дебљине седимента и равномерније таложење, што је посљедица смањене турбуленције и нижих хидродинамичких брзина. Истраживања у систему Триглавских језера показују да се стопа седиментације креће у распону од 0,34 до 0,57 cm годишње, у зависности од хидролошких и геоморфолошких услова појединих језера. Ове вриједности су посљедица умјерених процеса таложења у високопланинским језерима, гдје се нанос углавном уноси током периода топљења снијега и интензивних падавина (Šmuc et al., 2013). Иако Плавско језеро има другачије морфометријске и хидролошке карактеристике у односу на Триглавска језера, одређене сличности се могу уочити у механизму транспорта и таложења наноса. У оба случаја, еродовани материјал из слива транспортује се ријечним и бујичним токовима и таложи првенствено у приобалним и уливним зонама језерског басена.

Слични процеси уочени су и код Бохињског језера у Словенији, гдје ријеке Савица, Јерека, и Мостница представљају најзначајнији извор наноса, доносећи карбонатни теригени материјал (доломити, карбонатни седимент) из централног и западног дијела слива и формирајући делту у западном дијелу језера (Andrič et al., 2020). Ово се може објаснити различитим степеном антропогеног оптерећења: у сливу Плавског језера уочавају се интензивне пољопривредне активности, неконтролисана сјеча шума, испуштање непречишћених отпадних вода, док је слив Бохињског језера под строгим режимом заштите у оквиру националног парка, са очуваним шумским покривачем и минималним утицајем људске активности (Gabrovec, Hrvatin, 2012).

Осим тога, Бохињско језеро (Brancelj, 2002) има јасно дефинисан површински одлив кроз ријеку Језерницу, што омогућава континуирано изношење финих честица и нутријената, док је Плавско језеро полузатворен систем са подземним одливом према Лиму, што доприноси

акумулацији наноса и органске материје. Управо та хидролошка разлика чини да је Плавско језеро знатно подложније исплићавању и еутрофикацији, док се у Бохињском одржава стабилан екосистем са ограниченим промјенама у морфометрији (Brancelj, 2002, Lojen et al., 2004). Главни извор наноса у језеру Блед представљају притоке Мишца и Солзник, као и вода ријеке Радовне (Molnar et al., 1978). У складу са наведеним резултатима, посебан значај има концепт седиментне повезаности, који указује да количина наноса у језеру не зависи искључиво од интензитета ерозије, већ и од степена повезаности између извора наноса и водотока. Индекси повезаности (IC и FIC) омогућавају процјену потенцијалног и стварног транспорта седимената, при чему IC одражава морфолошке и просторне карактеристике терена, док FIC указује на утицај конкретних хидролошких догађаја и процеса у сливу (Borselli et al., 2008)

Смањење запремине Плавског језера доводи до више повезаних промјена у еколошко-хидролошком режиму: редукције акумулационог капацитета и смањене способности ретенције воде у кишним периодима, смањења дубинске циркулације и потенцијалног дефицита кисеоника у доњим слојевима, као и убрзања процеса еутрофикације услед акумулације органског материјала и нутријената у седименту. Поређења ради, у Бохињском језеру овакви процеси су минимални захваљујући природној регулацији хидролошких токова и високом степену очуваности водозахватног подручја (Gabrovec, Hrvatin, 2012). Резултати истраживања на акумулацији Смоково указују да доминантан дио наноса потиче из ограниченог броја ерозионо активних сливова, што је у складу са запажањима у сливу Плавског језера, гдје притоке попут Луче и Врује имају кључну улогу у уносу седимента. Иако процијењени вијек трајања акумулације Смоково прелази 200 година, израженији ерозиони процеси и интензивнији бујични карактер појединих притока у сливу Плавског језера указују на потребу за систематским мјерама заштите, ради смањења продукције наноса и очувања језерског екосистема (Kalinderis et al., 2009).

Поређењем батиметријских података за двије епохе уочљив је тренд деградације језерског басена Плавског језера, који би, уколико се настави истим интензитетом, у наредним деценијама могао довести до значајног губитка водене површине и трансформације дијела језера у мочварни екосистем. За разлику од њега, Бохињско језеро задржава стабилан волумен и дубинску структуру, што потврђује да су очуван шумски појас, контролисана ерозија и ефикасан одводни систем кључни предуслови дугорочне стабилности планинских језера (Mikoš, 2012). Станковић (1968) наводи да су у контексту управљања водним ресурсима и развојних планова у сливу Плавског језера током друге половине XX вијека разматране

могућности његовог коришћења у енергетске сврхе. Тако је 1956/57. године група стручњака „Енергопројекта“ из Београда израдила елаборат под називом „Студија акумулације Плав“, у којем су разматране три варијанте нивоа успора воде (945 m, 933 m и 917 m), уз изградњу бране код Градца. Све предложене варијанте подразумијевале су потапање Плавског језера и његово укључивање у систем вјештачке акумулације. Наведена студија, међутим, није званично ревидирана нити усвојена, тако да предложена рјешења никада нису реализована.

Поред тога, почетком шездесетих година XX вијека израђени су и елаборати који су се односили на мелиорацију долине ријеке Луче и приобалног појаса Плавског језера, а који су предвиђали одређене интервенције у циљу регулисања водног режима и снижавања нивоа језера. Међутим, због недостатка финансијских средстава ни ови планови нису реализовани.

Горњи токови сливова Луче, Врује и Грнчара карактеришу велики нагиби и ограничен биолошки покривач, што их чини високо осјетљивим на ерозионе процесе. Због тога се примарни акценат антиерозионих мјера усмјерава на биотехничке интервенције и повећање пошумљености, јер се њиховом примјеном, поред заштитне улоге, стварају и предуслови за очување биолошке разноврсности. Повећање вегетационог покривача доприноси стабилизацији падина, унапређује хидролошке услове у сливу, побољшава развој земљишта и његову инфилтрациону способност, те значајно умањује интензитет ерозије. Слични резултати забиљежени су и на језеру Волви, гдје је повећање шумског покривача за око 6% довело до смањења седиментације за 15% и стопе алувијације за 50%, што додатно потврђује кључну улогу вегетације у контроли ерозионих процеса (Kastridis и Kamperidou, 2015; Salahalddin et al., 2016). На овај начин смањују се максимални протицаји и запремина поплавних таласа, као и количина наноса која доспијева у језеро, што коначно редукује ризик од бујичних поплава (Ristic et al., 2013). Сличан феномен се уочава и у сливовима који се уливају у природна језера ледничког порекла, попут алпских језера као што су Бохињско језеро у Словенији и потока који се уливају у језера као што су Сорапис у околини Cortine d’Ampezzo у Италији (Carrivick, 2021). У овим сливовима, нагли пораст протока током обилних падавина доводи до снажног транспорта вученог наноса, а примјена биолошких и биотехничких мјера (пошумљавање, стабилизација косина и изградња тераса) показала је ефикасност у смањењу ерозије и контролисаном задржавању наноса (Rickli et al., 2012), што је у складу са мјерама које се предлажу за сливове Луче, Врује и Грнчара.

У средњем токовима Доље и Бијелог потока планиране су техничке и биотехничке интервенције, што подсјећа на праксу у планинским сливовима Алпа, гдје комбинација површинског отицања и пољопривредне активности захтијева примену контурне обраде

земљишта, дренажних канала и травних заштитних појасева за смањење ерозије (Morgan, 2005). Микро-ретенције и шумске контуре у сливу Доље омогућавају контролисано инфилтрирање падавина и задржавање финих седимената, чиме се смањује површинско отицање и прекида транспорт наноса, што је у складу са налазима да ерозиони облици и дренажне структуре значајно утичу на повезаност отицаја и транспорта седимената у сливу (Poesen et al., 2003).

Доњи токови и уливне зоне, нарочито у сливовима Луче и Грнчара, представљају критичне просторе акумулације наноса. Примјена техничких мјера, као што су, ретенциони базени, консолидационо-депонијске преграде и системи прагова, омогућава контролисано таложење наноса, смањење ризика од бујичних поплава и стабилизацију приобалних зона. Слично, у ледничким језерима као што су језеро Lago di Sorapis и Бохињско језеро, овакви системи задржавања наноса повећавају ретенциони капацитет и доприносе стабилном хидролошком режиму (Carrivick, 2021; Brancelj et al., 2002).

Осим тога, системска примјена дефинисаних мјера у сливовима Луче, Врује и Грнчара има потенцијал да смањи укупни унос наноса у Плавско језеро за 30–40% у наредној деценији, као и да омогући дугорочну стабилизацију земљишта, повећање пољопривредне продуктивности и очување ретенционог и еколошког капацитета језера. Сличан приступ примјењен је и у алпским бујичним сливовима у Словенији, у подручју планинског центра Krvavec Ski Resort, гдје су након екстремног бујичног догађаја 2018. године спроведене комбиноване техничке мјере у сливовима бујичних токова Река, Брезовшка и Лукењска бујична долина. Мјере су обухватале обнову и стабилизацију корита потока Река, изградњу велике функционалне преграде за задржавање наноса, на ушћу Брезовшког и Лукењског грабена, као и инсталацију више флексибилних мрежних баријера дуж њихових корита. Примјена ових мјера значајно је смањила ерозију корита и обала, ограничила прилив наноса из ерозионих зона и спријечила транспорт великих количина крупног наноса према низводним подручјима током каснијих екстремних падавинских догађаја, укључујући поплаве 2023. године, чиме је потврђена њихова ефикасност у стабилизацији бујичних сливова и заштити инфраструктуре (Sodnik et al., 2023).

Са финансијског и институционалног аспекта, улагања у интегралну противерозиону заштиту показују се економски оправданим, јер су трошкови превенције знатно мањи од трошкова санације деградираних подручја и губитка акумулационог потенцијала језера. Истовремено, реализација ових мјера у складу је са принципима одрживог управљања сливовима, дефинисаним у оквиру међународних стандарда и модела интегралног управљања (FAO,

UNCCD, DRR, UNESCO IHP). Континуирани мониторинг, међусекторска сарадња и укључивање локалних заједница представљају темељ дугорочне ефикасности система заштите, чији је циљ очување природне равнотеже, продуктивности и еколошке стабилности слива Плавског језера.

8. ПРИЈЕДЛОГ МЈЕРА ЗА ПРОТИВЕРОЗИОНУ ЗАШТИТУ И РЕДУКЦИЈУ НАНОСА У СЛИВУ ПЛАВСКОГ ЈЕЗЕРА

Противерозиони радови и мјере обухватају биолошке, биотехничке, техничке и административно-организационе активности.

Биолошки радови обухватају: мелиорацију деградираних пашњака и шума; пошумљавање и затрављивање голети, деградираних оранице и пашњака; подизање шумских култура са аутохтоним врстама дрвећа и жбуња; формирање илофилтерских појасева са наизмјеничним редовима дрвећа, жбуња и густо сијаних травно-легуминозних смјеша. Вегетација (шумска, жбунаста или травно-легуминозна) значајно смањује интензитет ерозионих процеса и редукује потенцијал за генезу брзог површинског отицаја.

Биотехнички радови обухватају: изградњу тераса које се пошумљавају; контурних зидића против спирања; дренажних система, површинских и подземних дренажа за евакуацију воде; израду плетера за санацију јаруга или стабилизацију падина, све у комбинацији са пошумљавањем и затрављивањем; израду и уградњу контурних стабилизатора (фашина) за стабилизацију обала и падина.

Технички радови обухватају: изградњу попречних објеката у коритима (ретензије, прагови, преграде, каскаде, рустикалне преграде) и уздужних објеката (заштитни зидови, кинете, регулације), с циљем контроле брзог сливања воде, депоновања наноса и смањења ризика од бујичних поплава. До сада су овакви објекти изведени само у ограниченом обиму на дијелу тока Грнчара.

Административно-организационе мјере обухватају: прописивање препорука и забрана на угроженим дијеловима сливова везаних за третман шумских и пољопривредних површина у складу са стручном процјеном лиценцираних инжењера; поступање у циљу стриктне примјене урбанистичког и комуналног реда (забрана или контрола изградња у плавним зонама; уклањање и забрана депоновања свих врста отпада); едукација локалног становништва; обука и одабир компетентних стручњака на нивоу локалне самоуправе за проблематику контроле ерозије и одбране од бујичних поплава.

Сливови ријека Луче, Врује, Доље, Бијелог потока и притоке Грнчара представљају сложене планинске хидролошко-геоморфолошке системе са високим ерозионим потенцијалом. Планински рељеф, стрме експозиције, деградирана земљишта и интензивни површински

отицаји изазивају значајне ерозионе процесе који угрожавају земљиште, водне ресурсе и инфраструктуру. Бујични потоци који утичу на слив Луче, као што су Радончића поток, Сулејман Сејтов поток, Кукића поток, Вишњевски поток и Мартиновићки поток, представљају критичне елементе хидрографске мреже слива, захтијевајући интегрисани приступ у заштити од ерозије. У циљу заштите Плавског језера од даљег засипања ерозионим наносом неопходно је предузети низ системских антиерозионих мјера. На основу анализе природних услова и ерозионих процеса у сливу могуће је предложити свеобухватне радове и интервенције за уређење бујичних токова, што би значајно смањило брзину сливања воде, продукцију и пронос наноса, а тиме и ризик од засипања језера. Једно од кључних рјешења за очување Плавског језера јесте интегрално уређење цијелог слива, које подразумијева спровођење биолошких, биотехничких и техничких противерозионих радова усмјерених на отклањање садашњих и превенцију будућих штета од ерозије. Примјеном ових мјера очекује се значајно смањење доспијевања наноса у језеро.

Улагања у антиерозионе радове довешће до повећања пољопривредних приноса (воћњаци, травњаци), а дио средстава може бити повраћен кроз развој сеоског туризма, риболова и наводњавања (Kostadinov et al., 2014). Интегрално уређење слива заснива се на сљедећим циљевима: заштити насеља од бујичних поплава, контроли ерозионих процеса, смањењу продукције и проноса наноса, као и смањењу запремине површинског отицаја.

Примјена концепта одрживе пољопривреде укључује интензивирање производње на примарним пољопривредним земљиштима, продуктивно коришћење деградираних екосистема, изузимање маргиналних површина из производње и одржавање равнотеже између природних и агроекосистема (Кадовић, 1999).

У циљу ефикасне реализације предложених мјера, неопходан је координисан рад надлежних институција у областима водопривреде, шумарства и пољопривреде. Приликом пројектовања и извођења радова неопходно је примјењивати еколошки прихватљиве технологије и материјале. Прорачун трошкова изведен је на основу стандардних јединичних цијена за биолошке, биотехничке и техничке радове које се примјењују у шумарству, пољопривреди и водопривреди Црне Горе и региона. За сваку врсту мјере дефинисана је одговарајућа јединица мјере (ha, m^3, m, km или комад), затим је извршено множење препоручених количина са просјечном јединичном цијеном добијеном из релевантних техничких норми и сличних пројеката. На овај начин добијени су укупни трошкови по ставци, који представљају реалну финансијску процјену потребну за имплементацију предложених противерозионих мјера.

Прорачун омогућава планирање фазне реализације, израчунавање инвестиционих потреба и економске оправданости интервенција у периоду од 20–30 година, у складу са стандардима интегралног управљања сливовима.

Цијелокупни антиерозиони систем за слив Плавског језера обухвата све бујичне водотоке, укључујући ријеке и притоке: Лучу, Врују, Дољу, Бијели поток, Грнчар, Бистричицу, Дољу, Радончића поток, Сулејман Сејтов поток, Кукића поток, Вишњевски и Мартиновићки поток, а његова имплементација обезбјеђује дугорочну стабилност земљишта, очување водних ресурса и смањење ерозионих ризика.

Изградња десет вишенамјенских хидроакумулација на водотоцима Мартиновићки, Грнчар, Бистричица 1, 2 и 3, Дољa, Гребаја, Скакавац, Жаруница и Ропојан имала би изражен мултифункционални и капитални антиерозивни ефекат (Nikčević et al., 2023). Постављање система вишенамјенских хидроакумулација допринијело би побољшању система наводњавања, стабилнијем водоснабдијевању, развоју туризма, настанку нових акватичних и приобалних екосистема, као и производњи енергије која представља значајан економски ресурс и покретач интегралног регионалног развоја. Имплементацијом оваквих акумулационих структура омогућило би се ефикасно задржавање и контролисање ерозионог материјала унутар сливова, чиме би се спријечило уношење приближно 26.000 m³ наносног материјала годишње у језерски систем. На тај начин значајно би се умањили процеси запуњавања језера, очувала његова еколошка стабилност и продужио експлоатациони вијек акумулације.

Анализом ерозионих процеса и хидролошко-геоморфолошких карактеристика слива ријеке Грнчар утврђено је да се ради о сливу осредњег ерозионог потенцијала, са израженим нагибима у горњем и средњем току и формираним поплавним равнима у доњем току. Стога предложени систем противерозионих мјера представља свеобухватан и интегралан приступ заштити земљишта и водотока. Такав концепт је у потпуности у складу са савременим принципима интегралног управљања сливовима и заштите земљишта од ерозије.

У горњем току ријеке Грнчар, гдје доминирају шумски предјели са оштећеном вегетацијом и стрми терени, предвиђена је примјена сјече у циљу обнове и стабилизације шумског покривача на површини од 109 ha. На истом простору планирано је формирање бенч тераса на нагнутим пашњачким и пољопривредним површинама, као и микроретензионих појасева и плетера мањих висина. Ове мјере су изузетно важне у зони извора и бујичних токова, јер доприносе задржавању воде у земљишту, смањују брзину отицања и омогућавају депоновање

наносног материјала у микроретензионим зонама. Контурни ровови са воћем, предвиђени на 65 ha, представљају агрошумарску мјеру која има двоструку корист – с једне стране спречавају површинску ерозију, а с друге стране доприносе руралном развоју и повећању биолошке разноврсности.

Средњи ток Грнчара карактеришу брежуљкасти терени, обрадиве површине и пашњаци подложни површинском спирању и плиткој ерозији. У овој зони предложене су мјере мелиорације пашњака на 44 ha и терасирања на 82 ha. Циљ ових интервенција је побољшање структуре земљишта, смањење површинског отицања и повећање влаге у кореновој зони биљака. Пошумљавање на терасама у средњем току и на десним обалама ријеке представља изузетно ефикасан начин стабилизације терена, јер дрвеће са дубоким коријеном додатно фиксира земљиште и смањује интензитет ерозионих процеса. На локалитетима гдје су нагиби већи и гдје постоји ризик од клизања земњишта, предвиђена је изградња рустикалних зидова и зидића у суво. Ове мјере спадају у биотехничке интервенције које комбинују природне материјале (камен, дрво) са вегетационим покривачем, што омогућава дугорочну стабилност и очување пејзажног идентитета простора.

Доњи ток ријеке Грнчар обухвата најугроженије зоне са становишта флувијалне ерозије и поплава. Овдје је планирана реализација низа техничких мјера, међу којима су најзначајније пошумљавање насипа и обала на површини од 33 ha, регулација корита у дужини од 4,36 km и изградња одбрамбених насипа у дужини од 5,45 km. Ове интервенције имају кључну улогу у заштити пољопривредних површина и насеља од поплава, али и у спречавању ерозије обала и смањењу интензивног проноса наноса. У доњем току су предвиђене и преграде од бетона и камена у цементном малтеру, које се постављају у зони јачих бујичних токова како би се стабилизовало корито и задржао дио наноса. Зидићи против спирања земљишта, са запремином од око 981 m³, постављају се на пољопривредним површинама и пашњацима уз обале, гдје је површинска ерозија најизраженија.

Примјена наведених мјера има јасну просторну логику – интервенције у изворишном дијелу слива усмјерене су на смањење ерозивне енергије и потенцијала за формирање површинског отицаја, као и стабилизацију терена. У нижим дијеловима слива и хидрографској мрежи тежи се контроли вученог наноса, заштити од флувијалне ерозије и могућег изливања воде. Оваква зонирана примјена мјера омогућава хармонизовано дјеловање у цијелом сливу и постепено смањење негативних утицаја на низводним дионицама, прије свега на Плавско језеро.

Табела 8.1. Предлог противерозионе заштите за притоку Грнчар (површина слива: 139,45 km²) (извор: аутор)

Врста радова	**Јединица мере**	**Препоручена количина**	**Објашњење предложених противерозионих мјера/ локација**
Санациона сјеча деградираних састојина	ha	109	На проријеђеним шумским површинама у горњем и средњем току Грнчара
Мелиорација пашњака	ha	44	На пашњачким и обрадивим површинама, у средњем и доњем дијелу слива
Пошумљавање у јамама на нагнутим теренима дуж тока ријеке Грнчар	ha	82	Дуж доњег тока ријеке Грнчар и подножја брежуљака
Пошумљавање на терасама	ha	27	Дуж средњег тока и десне обале ријеке Грнчара
Пошумљавање на градоне на постојећим насипима ријеке Грнчар	ha	33	Стабилизација насипа и обала, у доњем току Грнчара
Зидићи против спирања	m³	981	На критичним локацијама дуж доњег тока ријеке Грнчар, у зони обрадивих површина и пашњака
Терасирање	ha	82	На брежуљцима и пољопривредним површинама средњег и горњег тока
Бенч терасе	ha	109	На нагнутим пашњацима и обрадивим теренима у горњем и средњем току
Микроретензиони појасеви	ha	16	На локацијама са интензивним површинским отицањем у горњем току, уз шумске појасеве и пољопривредне површине
Контурни ровови са воћем	ha	65	На обрадивим површинама средњег тока
Рустикални зидови	m³	1199	На критичним падинама уз средњи ток, где постоји опасност од клизања површинских слојева земљишта
Зидићи у суво	m³	382	Мање падине и јаруге у средњем и доњем току
Плетери висине 0.3 m	m	120	На мање осјетљивим падинама у горњем току, као додатна заштитна мјера
Плетери висине 0.5 m	m	872	На критичним падинама, јаругама и подножјима брежуљака у средњем току
Преграде од бетона	ком	5	На доњем дијелу тока
Преграде од камена у суво	ком	5	На средњем дијелу тока
Регулација корита ријеке Грнчар	km	4,36 km	На доњем дијелу тока
Одбрамбени насипи	km	5,45 km	На доњем дијелу тока, у близини насеља и пољопривредних површина

Слив Бијелог потока, површине 4 km² (Stanković, 1968), карактерише изражена морфолошка разуђеност и неуједначена вегетациона покривеност, што резултира појачаном осјетљивошћу на ерозионе процесе. На основу теренских истраживања, анализе нагиба, литолошког састава и хидролошке мреже, дефинисан је сет приоритетних противерозионих мјера. Овај сет предложених мјера одговара принципима интегралног управљања сливним подручјима (Integrated Watershed Management, FAO 2017; UNESCO IHP 2019). У горњем току потока (Табела 8.2), гдје су нагиби израженији, а педолошки покривач плитак, препоручује се пребирна сјеча (3 ha), ради обнове деградираних шумских састојина и повећања вегетационог покривача који стабилизује земљиште. Ова мјера има дугорочан ефекат, јер се њоме побољшава инфилтрациони капацитет и смањује површински отицај. На истом подручју неопходно је спровести терасирање (2 ha) и формирати бенч терасе (3 ha), као класичан вид биотехничке заштите нагнутих терена. Терасе омогућавају акумулацију воде и смањују ерозиону енергију површинског тока, што је нарочито значајно у зони изворишта и стрмијих косина. На блажим падинама примјеном плетера висине 0,3 m врши се додатна контрола ерозије кроз задржавање ситног материјала и органских остатака. У средњем току, гдје доминирају пољопривредне површине и пашњаци, детектоване су појаве површинске ерозије и локалне деградације земљишта. У тим зонама препоручује се мелиорација пашњака (1 ha), како би се побољшала структура земљишта и омогућило формирање густог и функционално стабилног травног покривача који редукује ерозиони потенцијал падавина. Посебно су значајни контурни ровови са воћем (1,5 ha), који спајају пољопривредну и противерозиону функцију. Садња воћака уз контуре терена доприноси механичкој стабилности и постепеном снижавању брзине отицаја. У истом дијелу слива, микроретензиони појасеви (0,5 ha) постављени на транзитним зонама наноса, представљају ефикасну мјеру за контролу ерозије и депоновање наноса прије његовог уношења у водоток. Рустикални зидови (30 m³) и плетери висине 0,5 m предвиђени су за стабилизацију стрмијих падина у средњем току, гдје је уочена тенденција клизања земљишта након интензивних падавина. Ове мјере комбинују природне материјале са традиционалним техникама, што их чини еколошки прихватљивим и одрживим у дужем року. У доњем току Бијелог потока, у близини ушћа у ријеку Лим, присутна је ерозија обала и локално подривање, посебно у зони пољопривредних парцела и пашњака. Ту је неопходно спровести пошумљавање у јамама (2 ha) и пошумљавање на градоне (1 ha) ради стабилизације земљишта и смањења ерозије насипа. На критичним локацијама гдје је уочено спирање плодног слоја, предвиђена је изградња зидића против спирања (20 m³) и зидића у суво (10 m³), који омогућавају механичку заштиту земљишта и обала.

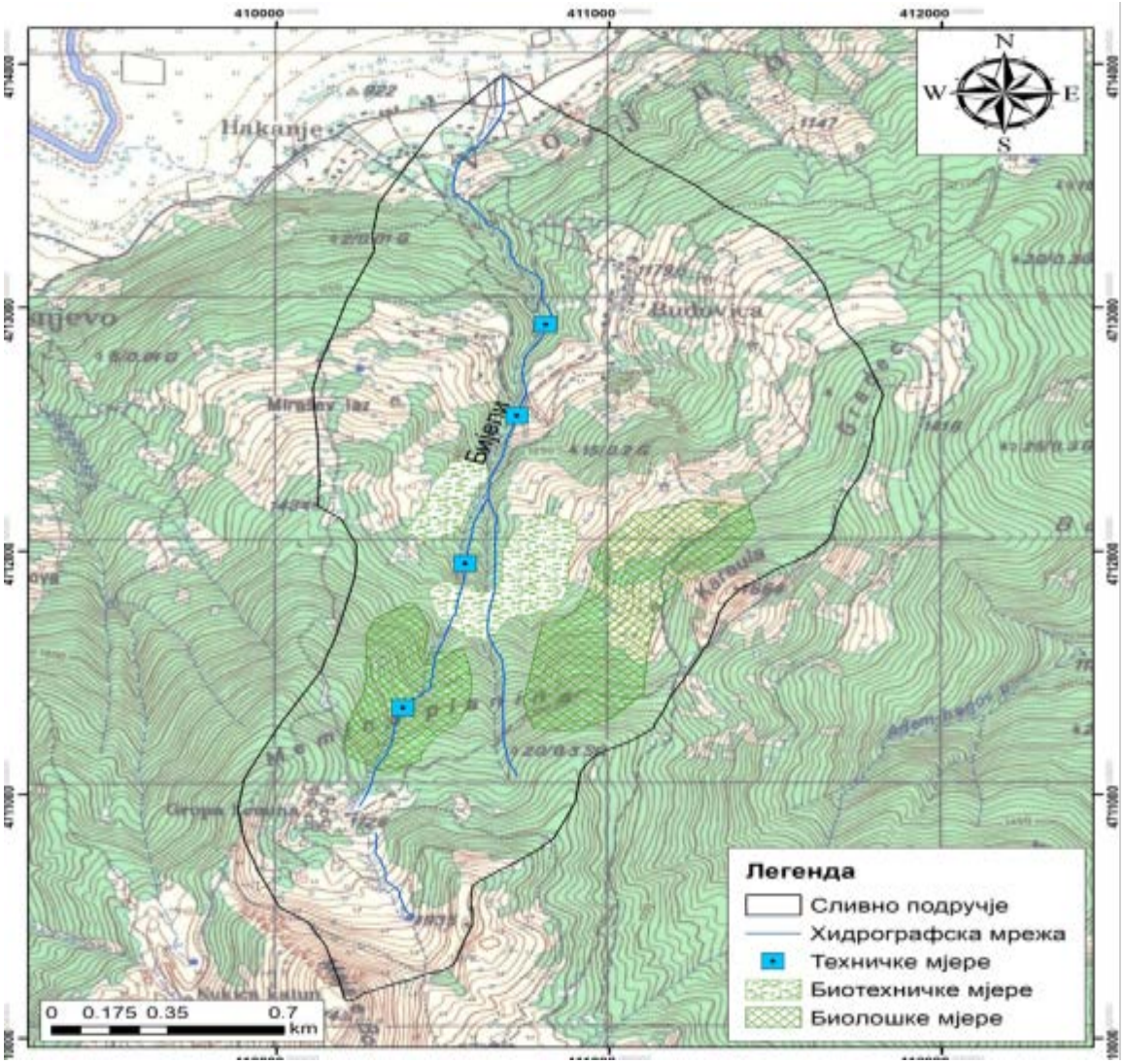
Табела 8.2. Предлог противерозионе заштите за Бијели поток (површина слива: 4 km²)

(извор: аутор)

Врста радова	**Јединица мјере**	**Препоручена количина**	**Објашњење предложених противерозионих мјера/ локација**
Санациона сјеча деградираних састојина	ha	3	Обнова шума на критичним локацијама у горњем току, око коте 1640 m (изворište, горње падине)
Мелиорација пашњака	ha	1	Потребно је увођење покровних култура и ротације
Пошумљавање у јамама	ha	2	У доњем и средњем току Бијелог потока
Пошумљавање на терасама	ha	1	У средњем току и уз пољопривредне површине на нагибима
Пошумљавање на градоне	ha	1	Заштита насипа и корита, у доњем дијелу тока
Зидићи против спирања	m³	20	На критичним локацијама у доњем току, ближе уливу у ријеку Лим
Терасирање	ha	2	У горњем и средњем дијелу тока, гдје су стрме обрадиве површине
Бенч терасе	ha	3	На горњем и средњем дијелу тока, на косинама са интензивном ерозијом
Микроретензиони појасеви	ha	0,5	На средњем дијелу тока
Контурни ровови са воћем	ha	1.5	На средњем дијелу тока
Рустикални зидови	m³	30	На стрмим падинама, у средњем току
Зидићи у суво	m³	10	На доњем току
Плетери висине 0.3 m	m	20	У горњем току, гдје су блаже падине
Плетери висине 0.5 m	m	30	На критичним мјестима средњег тока
Регулација корита	km	0.2	Око 200 m, у зони подлокавања обала и поред обрадивих површина
Одбрамбени насипи	km	0.3	У доњем дијелу тока, поред стамбених објеката и обрадивих површина

Посебан значај има регулација корита у дужини од 0,2 km, која је усмјерена на дијелове потока гдје је евидентирана изражена бочна (латерална) ерозија и неконцентрисан ток. Уређењем корита побољшава се проточност и смањује ризик од поплава у зони пољопривредних површина. Истовремено, постављање одбрамбених насипа у дужини од 0,3 km представља

мјеру техничке заштите, намјењену превенцији изливања потока током обилних падавина и очувању обрадивог земљишта.



Слика 8.1. Предложене противерозионе мјере Бијели поток (извор: аутор)

Слив ријеке Луче, са површином од 302,56 km², карактерише изражен ерозиони потенцијал, нарочито на стрмим и обрадивим површинама, што захтијева систематски и интегрисан приступ противерозионе заштите. Основни циљ предложених мјера (Табела 8.3) је стабилизација земљишта, смањење површинског отицаја и очување хидрогеолошког система слива.

У јужним и западним експозицијама стрмих голети, на надморским висинама од 1.100 до 1.500 m, препоручује се пошумљавање на површини од 60 ha. Ова биотехничка интервенција доприноси јачању стабилности земљишта кроз развој корјеновог система и значајно смањује

ерозију насталу површинским отицајем. На падинама нагиба од 15 до 30% у средњем дијелу слива, примјена заштитних појасева формираних по изохипсама терена, у укупној дужини од 25 km, служи за успоравање површинског отицаја и задржавање воде, што директно утиче на превенцију ерозије и побољшање хидролошког режима.

За контролу транспорта наноса и смањење брзине отицаја воде, предвиђена је изградња 45 малих преграда на притокама другог и трећег реда, у горњем и средњем току. Ови објекти имају директан ефекат на заустављање вученог наноса, консолидацију падина и обезбјеђују стабилност ријечног корита. Додатно, стабилизација обала ријеке у укупној дужини од 8 km у средњем и доњем току је кључна за превенцију бочне ерозије и контролу меандрирања, што омогућава дугорочну заштиту приобаља и смањује губитак земљишта.

У критичним зонама око сезонских потока, затрављивање површина на површини од 40 ha представља брзу биолошку мјеру за вегетацијску стабилизацију земљишта, смањење ерозије и унапређење еколошког стања подручја. На обрадивим површинама са нагибом већим од 12% у доњем дијелу слива, терасирање пољопривредног земљишта (35 ha) обезбјеђује успоравање површинског отицаја и спречавање транспорта земљишта, што је једна од најефикаснијих агротехничких мјера у контексту очувања плодности земљишта.

За контролу протицаја и наноса, предвиђена је изградња четири мини-ретензионе преграде малог капацитета у средњем дијелу слива. Допуњавајући ове интервенције, обнова шумског покривача примјеном пребирне сјече на површини од 20 ha усмјерена је на природну регенерацију деградираних мјешовитих листопадних шума, чиме се обезбјеђује дугорочна стабилизација терена и побољшање еколошког стања слива. Контурни стабилизатори (фашине) се користе за превенцију ерозије земљишта и успоравање површинског отицаја на падинама. Геотекстилне цијеви могу се успјешно примјењивати у ријечним системима као што је Луча, посебно за стабилизацију обала и заштиту од ерозије током бујичних поплавних таласа. Захваљујући својој прилагодљивости и брзој уградњи, оне представљају ефикасно и економично рјешење за привремену и полутрајну заштиту корита и приобаља (Yongqing Li et al., 2023).

Табела 8.3. Предлог противерозионе заштите за слив ријеке Луче, површина слива 302,56 km² (извор: аутор)

Врста радова	**Јединица мјере**	**Препоручена количина**	**Објашњење / Локација**
Пошумљавање стрмих голети	ha	60	Јужне и западне експозиције, надморске висине 1.100-1.500 метара, гдје је Z > 0,5
Постављање контурних стабилизатора	km	25	Нагиби 15–30%, средњи дио слива, спречавање површинског тока
Изградња малих преграда (2 m)	kom	45	На притокама 2. и 3. реда у горњем и средњем току
Стабилизација ријечних обала	km	8	Средњи и доњи ток ријеке Луче, гдје се јављају јака бочна ерозија и меандрирање
Затрављивање критичних падина	ha	40	У зонама повремених бујичних токова
Терасирање пољопривредног земљишта	ha	35	На обрадивим површинама са нагибом >12%, нарочито у доњем дијелу слива
Изградња водозадржавајућих објеката (мини-ретензије)	kom	4	На средњем дијелу тока
Обнова шумског покривача (пребирна сјеча)	ha	20	Природна регенерација постојећих деградираних шума (мјешовите листопадне врсте)

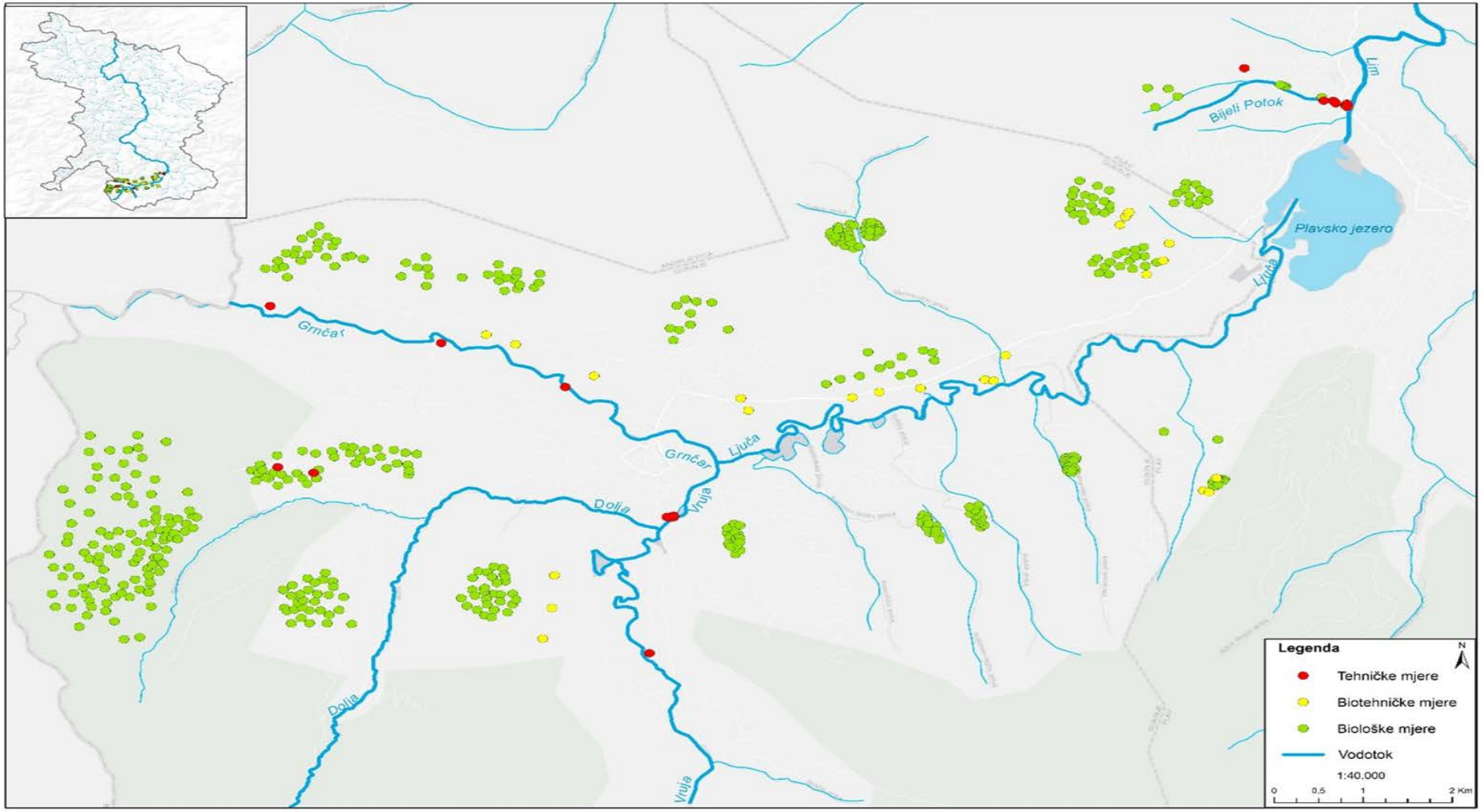
Табела 8.4. Предлог противерозионе заштите за слив ријеке Врује (површина слива Врује 115,95 km²) (извор: аутор)

Врста радова	**Јединица мјере**	**Препоручена количина**	**Објашњење/ Локација**
Пошумљавање стрмих голети	ha	25	Стрме експозиције и зоне са Z>0.6, посебно у горњем току (oko 924 mnm)
Постављање контурних стабилизатора	km	10	Падине са нагибом 15–30%, обрадиве површине у средњем току (око 910 mnm)
Изградња малих бујичних преграда (2 m)	ком	20	Горњи ток и притоке другог реда
Стабилизација ријечних обала	km	2,8	Доњи ток ријеке Врује – зоне са активним меандрирањем и бочном ерозијом
Затрављивање на критичним падинама	ha	17	Падине око повремених токова и голети у средњем дијелу слива
Терасирање пољопривредног земљишта	ha	12	Обрадиве површине са нагибом >12%, приоритетно у доњем дијелу слива
Изградња водозадржавајућих објеката (ретензије)	ком	2	Локалитети у средњем дијелу тока
Обнова шумског покривача (пребирна сјеча)	ha	13	Регенерација деградираних шума у зони средњег тока

Анализа ерозионих процеса и физичко-географских карактеристика слива ријеке Врује показује изражен ерозиони потенцијал, нарочито на стрмим и обрадивим површинама. У циљу ефикасне заштите слива и смањења губитка плодоносног слоја земљишта, потребно је

примијенити интегрисан систем противерозионих мјера. Такве мјере имају за циљ стабилизацију земљишта, редукцију површинског отицаја воде и очување хидролошке равнотеже у сливу. У горњем дијелу слива, гдје су ерозиони процеси најинтензивнији, препоручује се пошумљавање стрмих голети на површини од 25 хектара, посебно у зонама са коефицијентом ерозије Z>0,60. Ова биотехничка мјера доприноси стабилизацији земљишта кроз развој коријеновог система, повећава инфилтрацију воде и смањује ризик од површинског отицаја. У средњем дијелу слива, на падинама нагиба 15-30%, примјена контурних стабилизатора, у дужини од 10 km, представља провјерену биотехничку мјеру за успоравање површинског отицаја и смањење ерозије, нарочито на обрадивим површинама. Поред тога, изградња 20 бујичних преграда, у горњем току и на притокама другог реда, има за циљ задржавање наноса и успоравање брзине бујичних вода, чиме се директно смањује ерозиони потенцијал и ризик од локалних поплава. За стабилизацију ријечних обала у доњем дијелу слива, укупне дужине 2,8 km, предвиђене су интервенције у зонама активног меандрирања и бочне ерозије. Ове мјере служе очувању земљишта и хидроморфолошке стабилности корита ријеке, с посебним акцентом на заштиту обрадивих површина и насипа. На критичним падинама око сезонских токова, затрављивање површина на површини од 17 ha представља брзу и ефикасну биолошку мјеру за стабилизацију еродираних површина, смањење површинског отицаја и побољшање услова за поновно успостављање вегетационог покривача.

Терасирање пољопривредног земљишта планирано је на површини од 12 ha, у доњем дијелу слива, на теренима са нагибом већим од 12%. Терасе успоравају површински отицај и спречавају транспорт еродираних честица земљишта, што је од кључног значаја за очување плодности земљишта. За контролу вршних отицаја и задржавање наносног материјала у средњем току, предвиђена је изградња двије водозадржавајуће ретензије. Ови објекти имају важну улогу у редукцији ерозије и ублажавању ризика од појаве бујичних поплава. Поред тога, обнова шумског покривача на 13 ha усмјерена је на регенерацију деградираних шума и дугорочну стабилизацију земљишта, кроз успостављање природног вегетацијског покривача који додатно смањује ерозију и побољшава екосистемске функције слива.

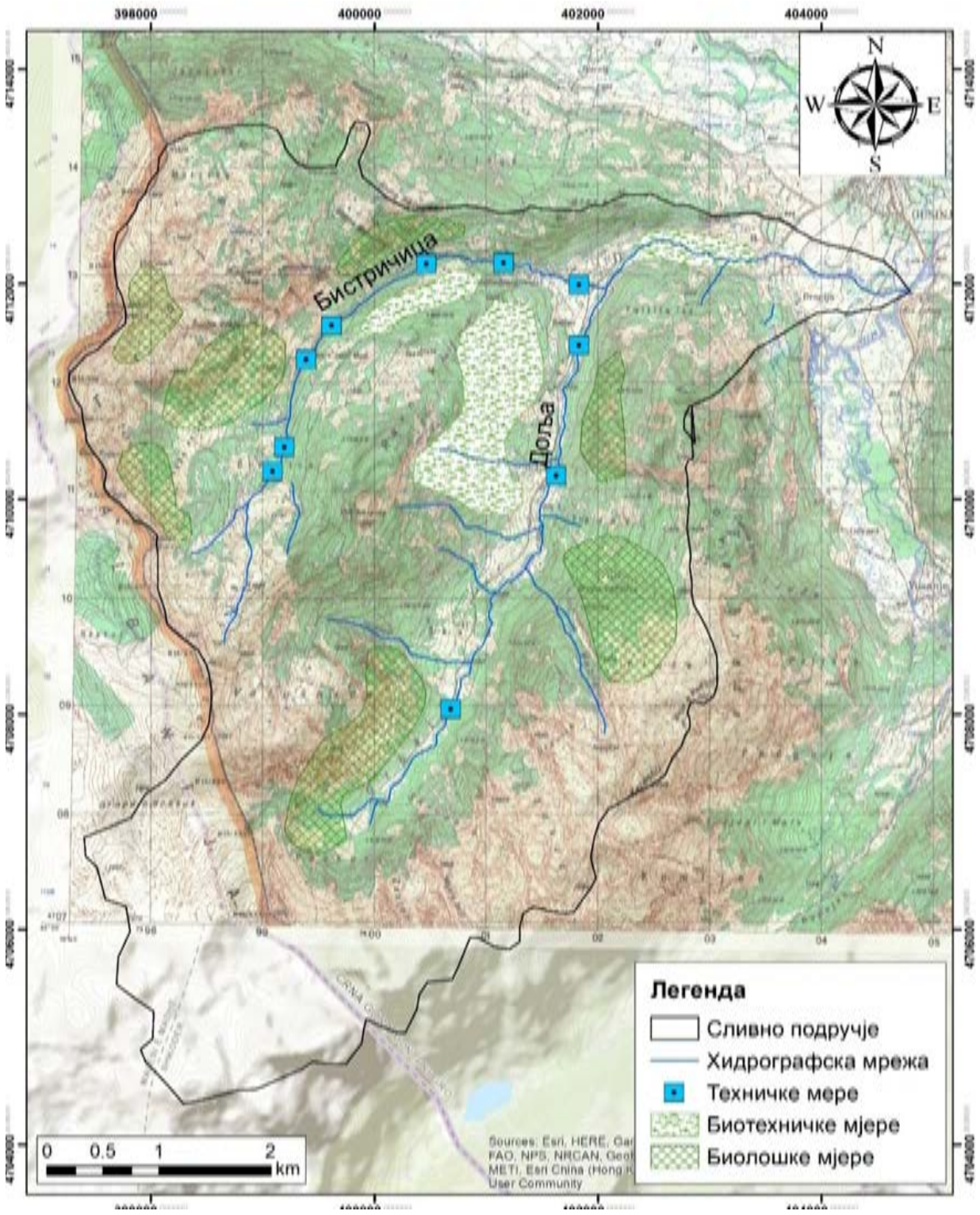


Слика 8.2. Предложени противерозиони радови за Грнчар, Лучу и Врују (извор: аутор)

Слив ријеке Доље карактерише релативно ограничена површина са израженим ерозионим ризицима на одређеним локацијама, нарочито у стрмим и деградираним зонама. За ефикасну контролу ерозионих процеса и очување природне равнотеже слива, препоручује се спровођење сљедећих противерозионих мјера (Табела 8.5).

Табела 8.5. Предлог противерозионе заштите за слив Доље (површина слива 38.91km^2) (извор: аутор)

Врста радова	**Јединица мјере**	**Препоручена количина**	**Објашњење предложених противерозионих мјера/ локација**
Пошумљавање стрмих голети	ha	6	Површине на западним експозицијама, на надморским висинама 1.100–1.400 m, Z >0.5
Постављање контурних стабилизатора	km	2,5	Падине 15–30% нагиба у средњем дијелу тока
Изградња малих бујичних преграда (2 m)	ком	5	На мањим притокама (2. и 3. реда) у горњем дијелу тока
Стабилизација ријечних обала	km	1	Критичне дионице доњег тока ријеке Доље, са знацима обалне ерозије
Затрављивање на критичним падинама	ha	4	Огољеле падине око повремених токова
Терасирање пољопривредног земљишта	ha	5	Обрадиве површине са нагибом >12%, углавном у средњем току
Изградња водозадржавајућих објеката (ретензије)	ком	1	У средишњем дијелу слива
Обнова шумског покривача (пребирна сјеча)	ha	9	Деградиране, периферне зоне шуме, на источним падинама



Слика 8.3. Предложене противерозионе мјере за ријеку Дољу, притоку Врује (извор: аутор)

Табела 8.6 приказује прорачун трошкова предвиђених антиерозионих мјера за притоке Плавског језера (Врују, Дољу, Лучу, Бијели поток и Грнчар).

Табела 8.6. Прорачун предвиђених радова за притоке Плавског језера: Врују, Дољу, Лучу, Бијели поток, Грнчар (извор: аутор)

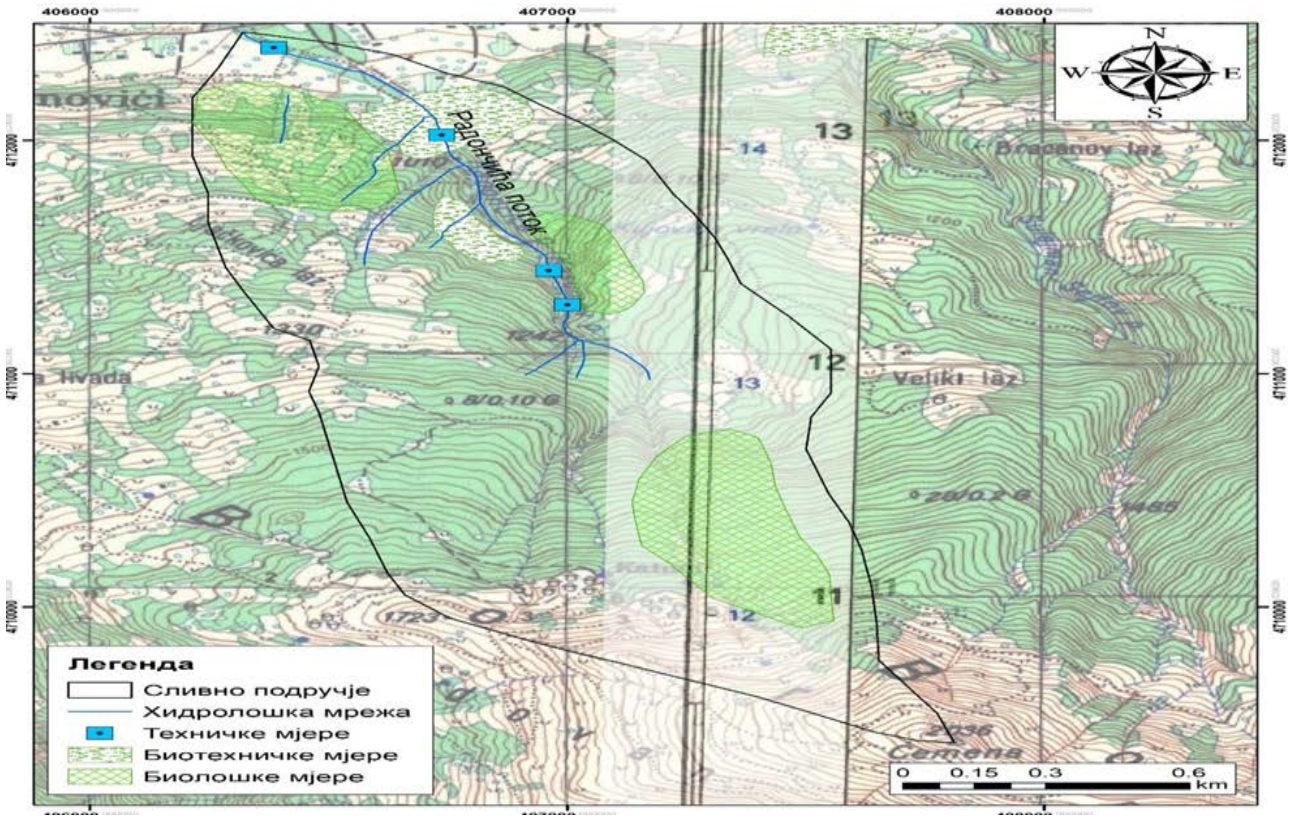
Слив/водоток	Врста радова	Јединица мјере	Количина	Јединична цијена (EUR)	Трошак (EUR)
Врућа	Пошумљавање стрмих голети	ha	25	1.500	37.500
Врућа	Постављање контурних стабилизатора	km	10	15.000	150.000
Врућа	Изградња малих бујичних преграда (2m)	ком	20	15.000	300.000
Врућа	Затрављивање на критичним падинама	ha	17	1.200	20.400
Врућа	Терасирање пољопривредног земљишта	ha	12	3.000	36.000
Врућа	Изградња водозадржавајућих објеката (ретензије)	ком	2	2.000	4.000
Врућа	Обнова шумског покривача (пребирна сјеча)	ha	13	1.500	19.500
Доља	Пошумљавање стрмих голети	ha	6	1.500	9.000
Доља	Постављање контурних стабилизатора	km	2,5	15.000	37.500
Доља	Изградња малих бујичних преграда (2m)	ком	5	15.000	75.000
Доља	Стабилизација рјечних обала (потпорни зид – габиони)	km	1	100.000	100.000
Доља	Затрављивање на критичним падинама	ha	4	1.200	4.800
Доља	Терасирање пољопривредног земљишта	ha	5	3.000	15.000
Доља	Изградња мини-ретензија	ком	1	2.000	2.000
Доља	Обнова шумског покривача	ha	9	1.500	13.500
Луча	Пошумљавање стрмих голети	ha	60	1.500	90.000
Луча	Постављање контурних стабилизатора	km	25	15.000	375.000
Луча	Изградња малих бујичних преграда (2m)	ком	45	15.000	675.000
Луча	Стабилизација ријечних обала	km	8	15.000	120.000

Луча	Затрављивање критичних падина	ha	40	1.200	48.000
Луча	Терасирање пољопривредног земљишта	ha	35	3.000	105.000
Луча	Изградња водозадржавајућих објеката (ретензије)	ком	4	2.000	8.000
Луча	Обнова шумског покривача	ha	20	1.500	30.000
Бијели поток	Санациона сјеча деградираних састојина	ha	3	1.500	4.500
Бијели поток	Мелиорација пашњака	ha	1	800	800
Бијели поток	Пошумљавање у јамама	ha	2	1.500	3.000
Бијели поток	Пошумљавање на терасама	ha	1	1.500	1.500
Бијели поток	Пошумљавање на градинама	ha	1	1.500	1.500
Бијели поток	Зидићи против спирања	m³	20	100	2.000
Бијели поток	Терасирање	ha	2	3.000	6.000
Бијели поток	Бенч терасе	ha	3	4.000	12.000
Бијели поток	Микроретенциони појасеви	ha	0,5	5.000	2.500
Бијели поток	Контурни ровови са воћем	ha	1,5	2.500	3.750
Бијели поток	Рустикални зидови	m³	30	120	3.600
Бијели поток	Зидићи у суво	m³	10	80	800
Бијели поток	Плетари висине 0,3 m	m	20	25	500
Бијели поток	Плетари висине 0,5 m	m	30	40	1.200
Бијели поток	Регулација корита	km	0,2	15.000	3.000
Бијели поток	Одбрамбени насипи	km	0,3	20.000	6.000
Грнчар	Санациона сјеча деградираних састојина	ha	109	2.000	218.000
Грнчар	Мелиорација пашњака	ha	44	800	35.200
Грнчар	Пошумљавање у јамама (ерозионе јаме)	ha	82	2.500	205.000
Грнчар	Пошумљавање на терасама	ha	27	2.500	67.500
Грнчар	Пошумљавање на градоне (обале / насипи)	ha	33	3.000	99.000
Грнчар	Зидићи против спирања (камени зидови)	m³	981	120	117.720
Грнчар	Терасирање	ha	82	4.000	328.000
Грнчар	Бенч терасе	ha	109	5.000	545.000
Грнчар	Микроретензиони појасеви	ha	16	3.500	56.000
Грнчар	Контурни ровови са воћем	ha	65	2.200	143.000
Грнчар	Рустикални зидови	m³	1.199	150	179.850

Грнчар	Зидићи у суво	m^3	382	130	49.660
Грнчар	Плетери висине 0,3 m	m	120	20	2.400
Грнчар	Плетери висине 0,5 m	m	872	25	21.800
Грнчар	Преграде од бетона	ком	5	15.000	75.000
Грнчар	Преграде од камена у суво (3m)	ком	5	25.000	125.000
Грнчар	Регулација корита	km	4,36	50.000	218.000
Грнчар	Одбрамбени насипи	km	5,45	30.000	163.500
	УКУПНО				**4.977.480**

Табела 8.7. Предлог противерозионе заштите за Радончића поток (извор: аутор)

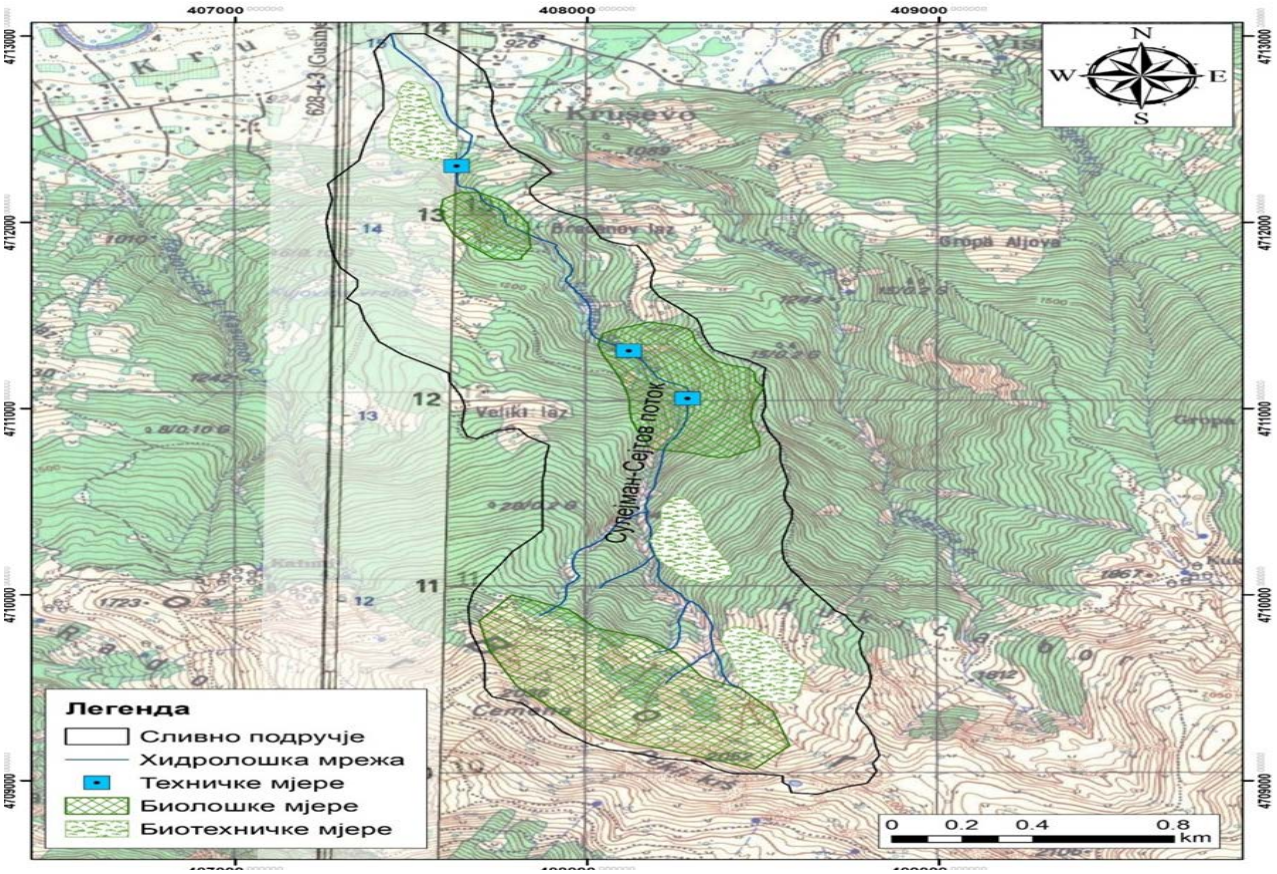
Радончића поток, притока ријеке Луче	
Тип мјере	Неопходна активност
Биолошке мјере	Горњи ток: пошумљавање деградираних површина, затрављивање еродираних падина; пошумљавање обала врбом и јовом Средњи ток: Пошумљавање обала врбом и јовом Фомирање заштитног зеленог појаса уз корито
Биотехничке мјере	Горњи ток: Озелењавање обала, израда плетера у јаругама Средњи ток: стабилизација косина обала, примјеном садње жбуња и постављањем фашина
Техничке мјере	Горњи ток: изградња двије мање преграде (корисне висине h_k до 2m) Средњи ток: изградња једне преграде корисне висине (h_k=3 m) Доњи ток: изградња једне ретензионе преграде изнад пута



Слика 8.4. Предложене противерозионе мјере у сливу Радончића потока (извор: аутор)

Табела 8.8. Предлог противерозионе заштите за Сулејман Сејтов поток (извор: аутор)

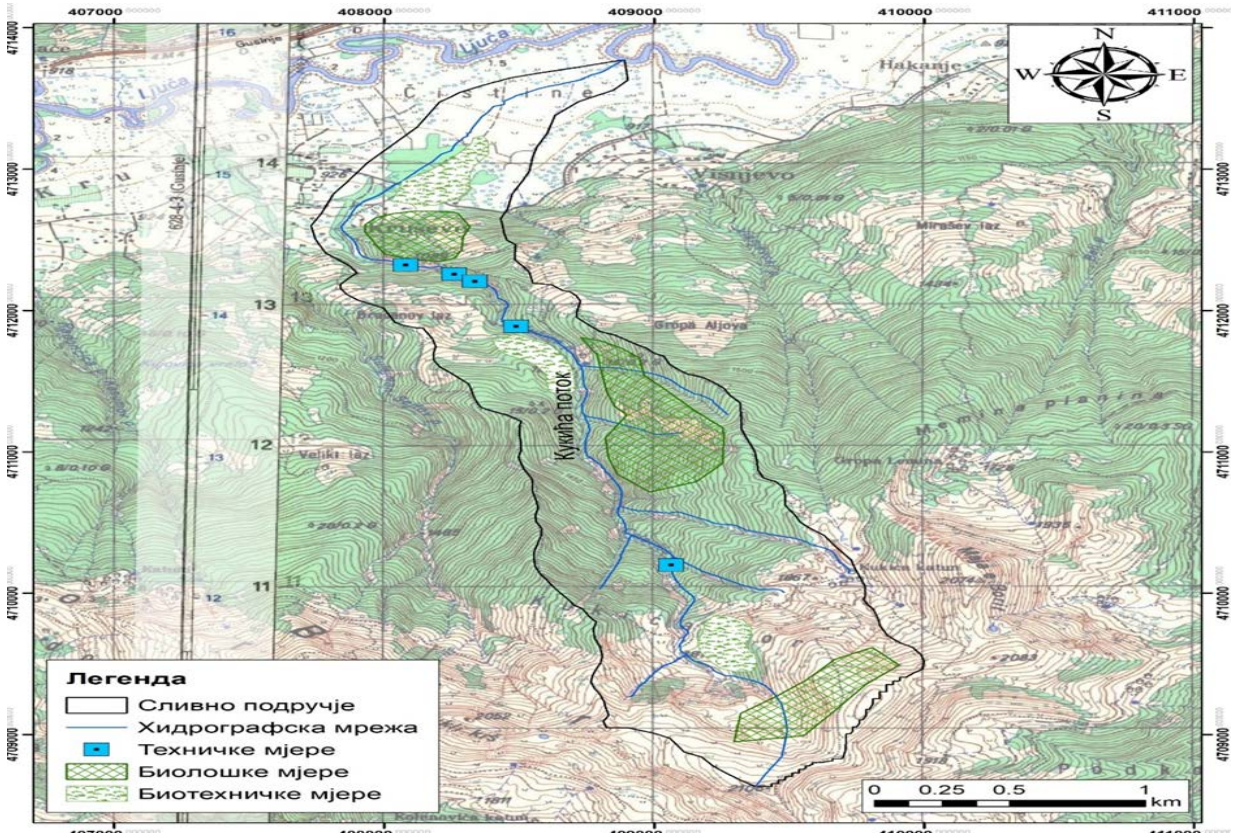
Сулејман Сејтов поток, притока ријеке Луче	
Тип мјере	Неопходна активност
Биолошке мјере	Горњи ток: пошумљавање деградираних површина Средњи ток: пошумњавање уз обале врбом и јовом Доњи ток: нтензивно пошумљавање стрмих падина и формирање заштитног зеленог појаса уз корито
Биотехничке мјере	Горњи ток: повећање покровности травним смјешама Средњи ток: стабилизација косина комбинацијом траве и жбуња Доњи ток: стабилизација обала комбинацијом вегетације и фашина
Техничке мјере	Средњи ток: систем камених прагова у кориту, hk=0,5 m Доњи ток: систем камених прагова, hk=1,0 m



Слика 8.5. Предложене противерозионе мјере у сливу Сулејаман- Сејтовог потока (извор: аутор)

Табела 8.9. Предлог противерозионе заштите за Кукића поток (извор: аутор)

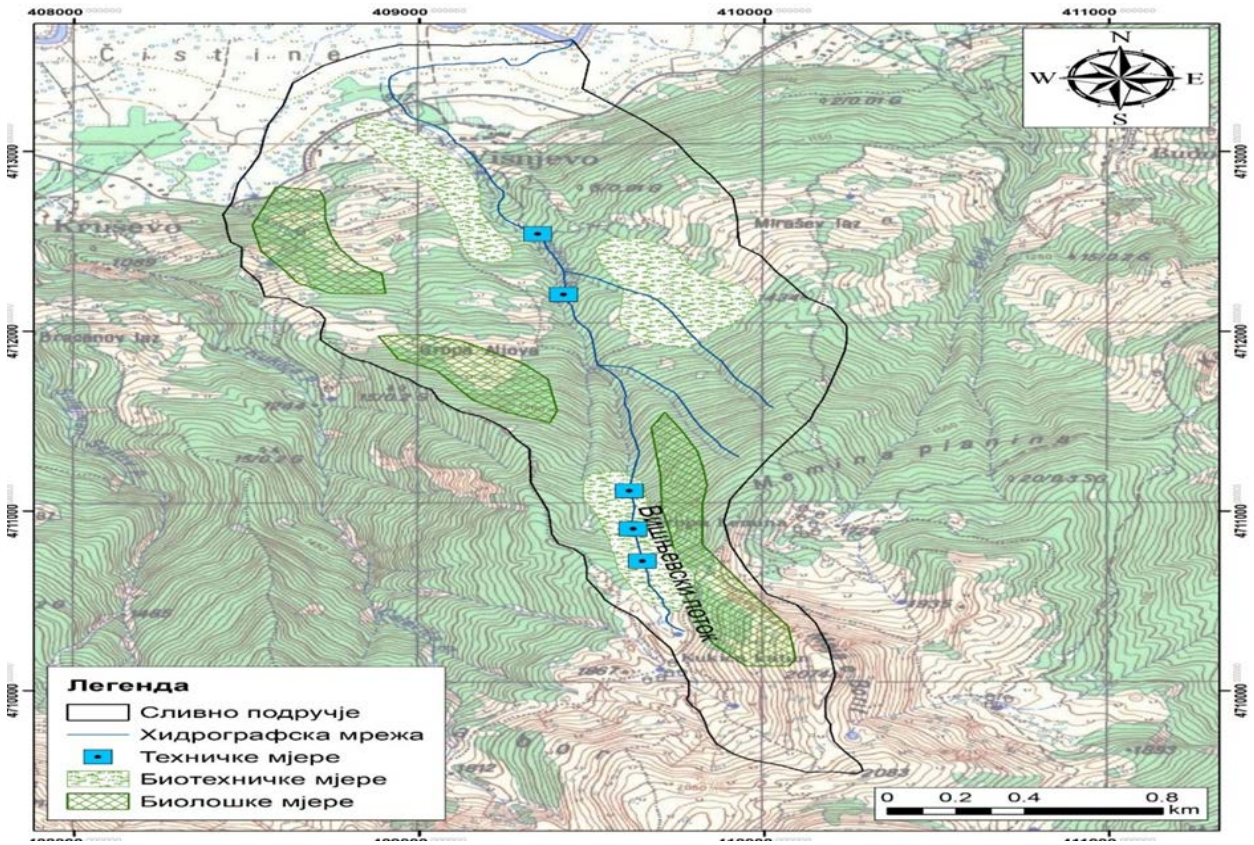
Кукића поток, притока ријеке Луче	
Тип мјере	Неопходна активност
Биолошке мјере	Горњи ток: пошумљавање деградираних површина Средњи ток: пошумљавање падина Доњи ток: густ илофилтерски појас уз корито
Биотехничке мјере	Горњи ток: повећање покровности применом травно-легуминозних смјеша, 20 gr/m^2 Средњи ток: стабилизација косина жбуњем Доњи ток: стабилизација обала комбинацијом вегетације и фашина
Техничке мјере	Средњи ток: систем камених прагова у кориту, h_k=0,5 m Доњи ток: систем камених прагова у кориту, h_k=1,5 m



Слика 8.6. Предложене противерозионе мјере Кукића потока (извор: аутор)

Табела 8.10. Предлог противерозионе заштите за Вишњевски поток (извор: аутор)

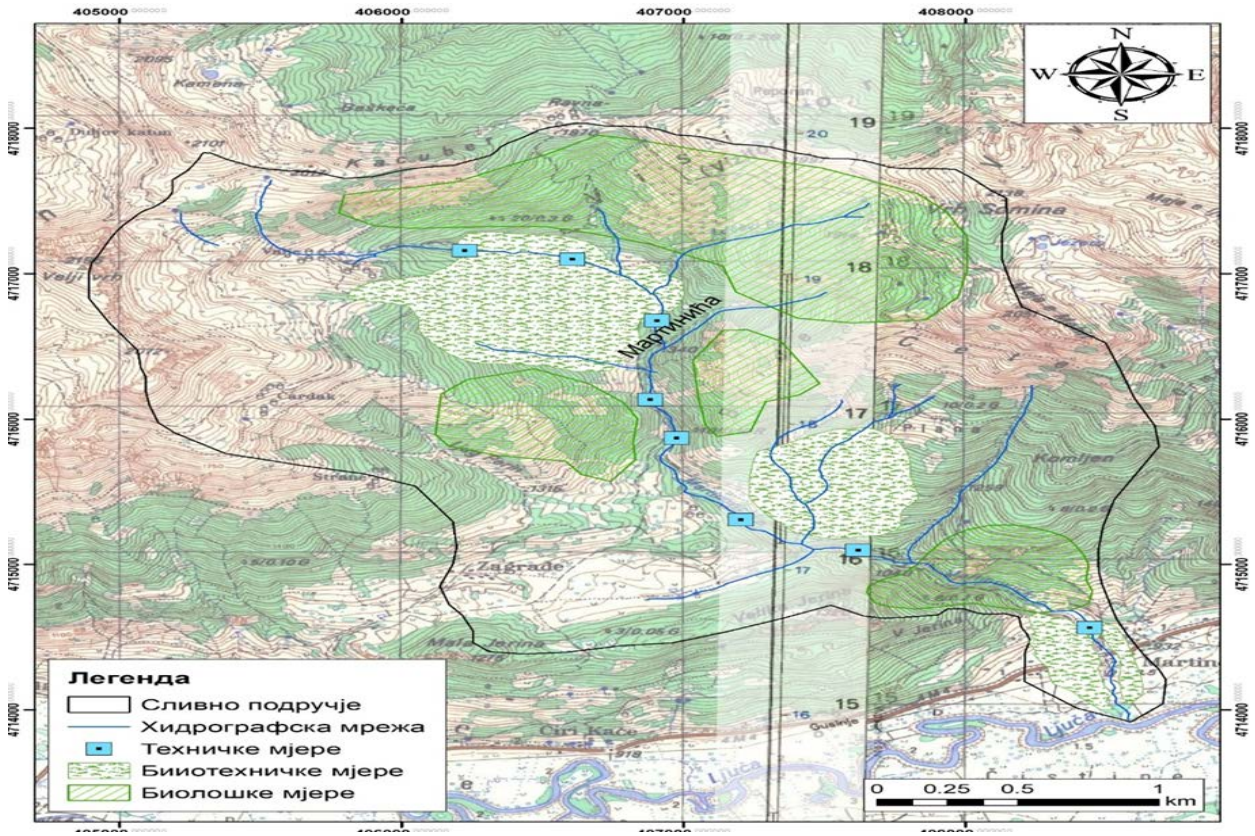
Вишњевски поток, притока ријеке Луче	
Тип мјере	Неопходна активност
Биолошке мјере	Горњи ток: пошумљавање деградираних површина Средњи ток: пошумљавање приобаља Доњи ток: густ илофилтерски појас уз корито
Биотехничке мјере	Горњи ток: садња стабилизујућег жбуња (глог, лијеска, шипак) уз бочне јаруге Средњи ток: биолошко ојачање обала (врба, јова) Стабилизација косина комбинацијом траве и жбуња Доњи ток: стабилизација обала фашинама
Техничке мјере	Горњи ток: преграде Средњи ток: преграде



Слика 8.7. Предложене противерозионе мјере Вишњевски поток (извор: аутор)

Табела 8.11. Предлог противерозионе заштите за Мартиновићки поток (извор: аутор)

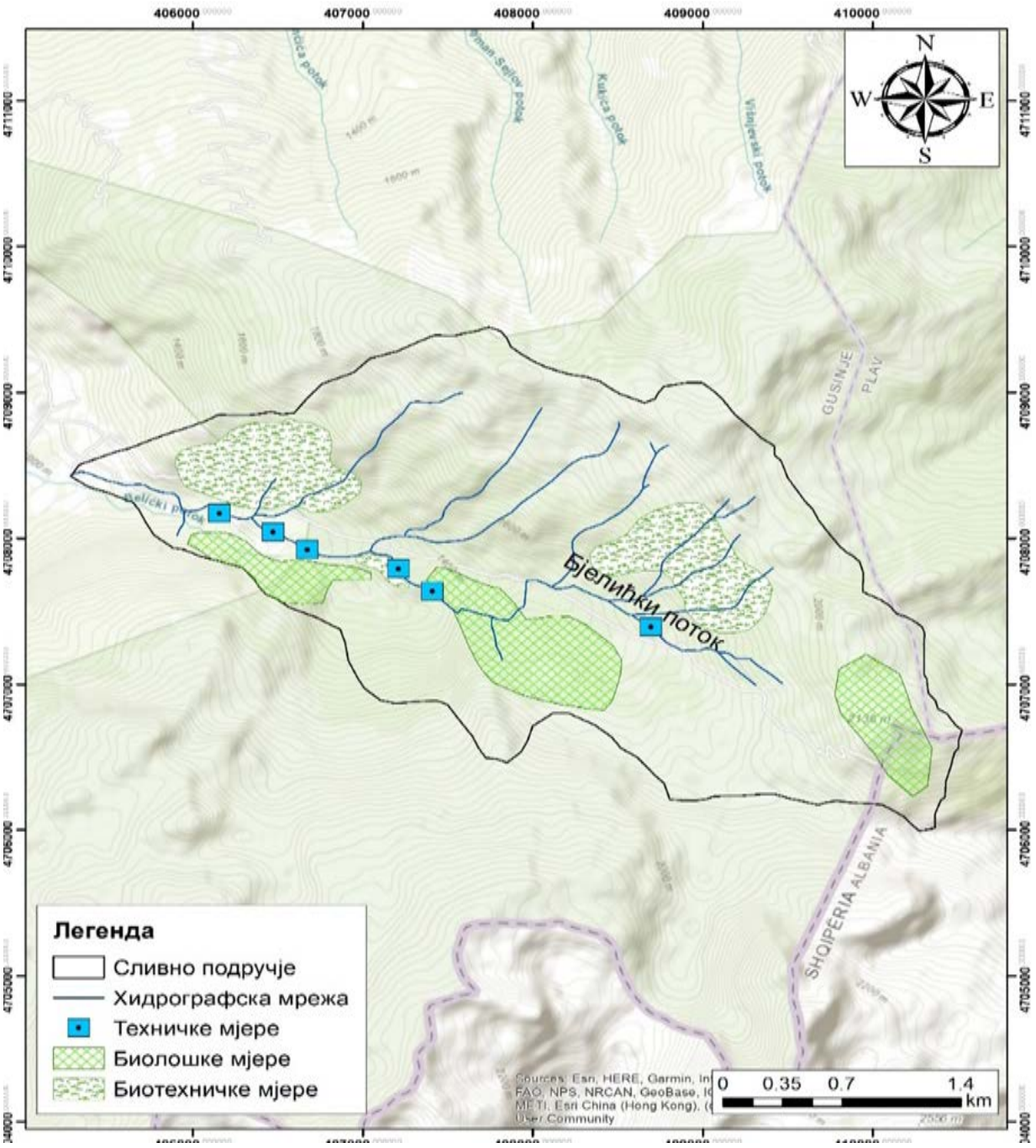
Мартинића поток, притока ријеке Луче	
Тип мјере	Неопходна активност
Биолошке мјере	Горњи ток: контурно пошумљавање деградираних површина Средњи ток: пошумљавање приобаља Доњи ток: густ илофилтерски појас уз корито
Биотехничке мјере	Горњи ток: контрола паше (ограничавање приступа стоке) Средњи ток: стабилизација косина жбуњем Доњи ток: садња врбе уз обале
Техничке мјере	Горњи ток: преграде на стрмим дијеловима Средњи ток: систем преграда у кориту Доњи ток: систем каскада



Слика 8.8. Предложене противерозионе мјере Мартиновићки поток (извор: аутор)

Табела 8.12. Предлог противерозионе заштите за Бјелићки поток (извор: аутор)

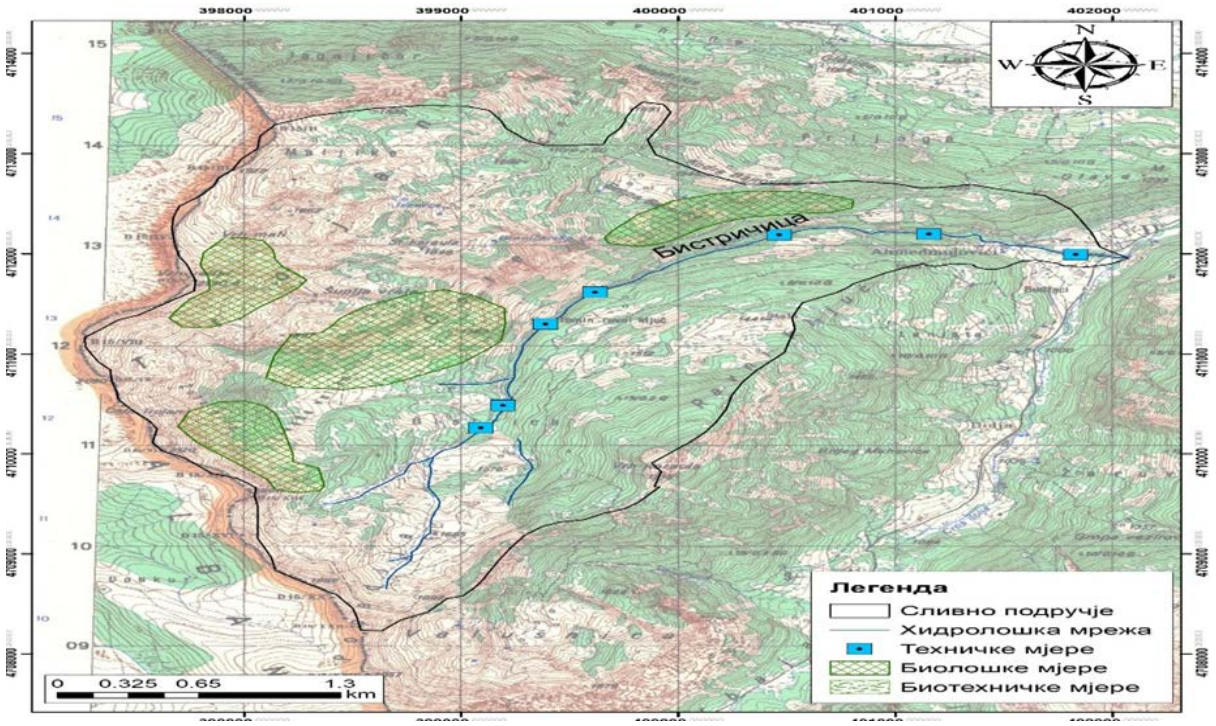
Бјелићки поток, притока ријеке Луче	
Тип мјере	Неопходна активност
Биолошке мјере	Горњи ток, око коте 1.650 mnm: затрављивање на огољеним површинама Средњи ток, 1.200-1.500 mnm: пошумљавање приобаља Доњи ток, 1.000-1.100 mnm: густ илофилтерски појас уз корито
Биотехничке мјере	Средњи ток: стабилизација косина обала садњом жбуња Доњи ток: садња врбе и жбуња уз обале
Техничке мјере	Горњи ток: изградња преграда hk=2,0 m Средњи ток: систем преграда (2–3), hk=2,0 m; рустикални потпорни зидови на критичним падинама Доњи ток: ретензиона преграда изнад зоне насеља, hk=3,0 m



Слика 8.9. Предложене противерозионе мјере у сливу Бјелићког потока (извор: аутор)

Табела 8.13. Предлог противерозионе заштите за Бистричицу (извор: аутор)

Бистричица, притока ријеке Доље	
Тип мјере	Неопходна активност
Биолошке мјере	Горњи ток (изворишне зоне, > 1300 m) ријеке Бистричице: пошумљавање стрмих голети, сијање травних смјеша на огољеним површинама Средњи ток, 1.100-1.300 mnm: пошумљавање приобаља Доњи ток, око 800 mnm: густ илофилтерски појас уз корито
Биотехничке мјере	Горњи ток: контрола паше (ограничавање приступа стоке критичним површинама) Средњи ток: учвршћење косина комбинацијом садње вегетације, постављања фашина и земљаних радова Доњи ток: садња врбе и жбуња уз обале
Техничке мјере	Горњи ток: изградња преграда hk=2,0 m (на бочним јаругама) Средњи ток: систем прагова у кориту Доњи ток: ретензиона преграда, hk=3,0 m



Слика 8.10. Предложене противерозионе мјере Бистричица (извор: аутор)

Предложени сет мјера (Табеле 8.7–8.13) за бујичне токове у сливу Луче, који се формирају на падинама планине Бор (потоци: Радончића, Сулејман Сејтов, Кукића, Вишњевски, Мартиновићки и Бистричица), представља интегрални модел управљања бујичним процесима, заснован је на системском дјеловању биолошких, техничких и биотехничких мјера.

Техничке мјере представљају примарну линију одбране од бујичних таласа и концентрисаног наноса. Примјена ретензионих преграда и каскадних прагова у сливовима, као што је Радончића поток, служи за редукцију кинетичке енергије воде и депоновање грубог наноса изнад критичних инфраструктурних зона, што директно умањује ризик од плављења и замуљивања. У мањим сливовима попут Сулејман Сејтовог потока, примјена камених прагова изграђених од локално доступног каменог материјала омогућава конструктивну стабилност, функционалну ефикасност и смањење трошкова, уз прихватљив естетски додатак природном пејзажу.

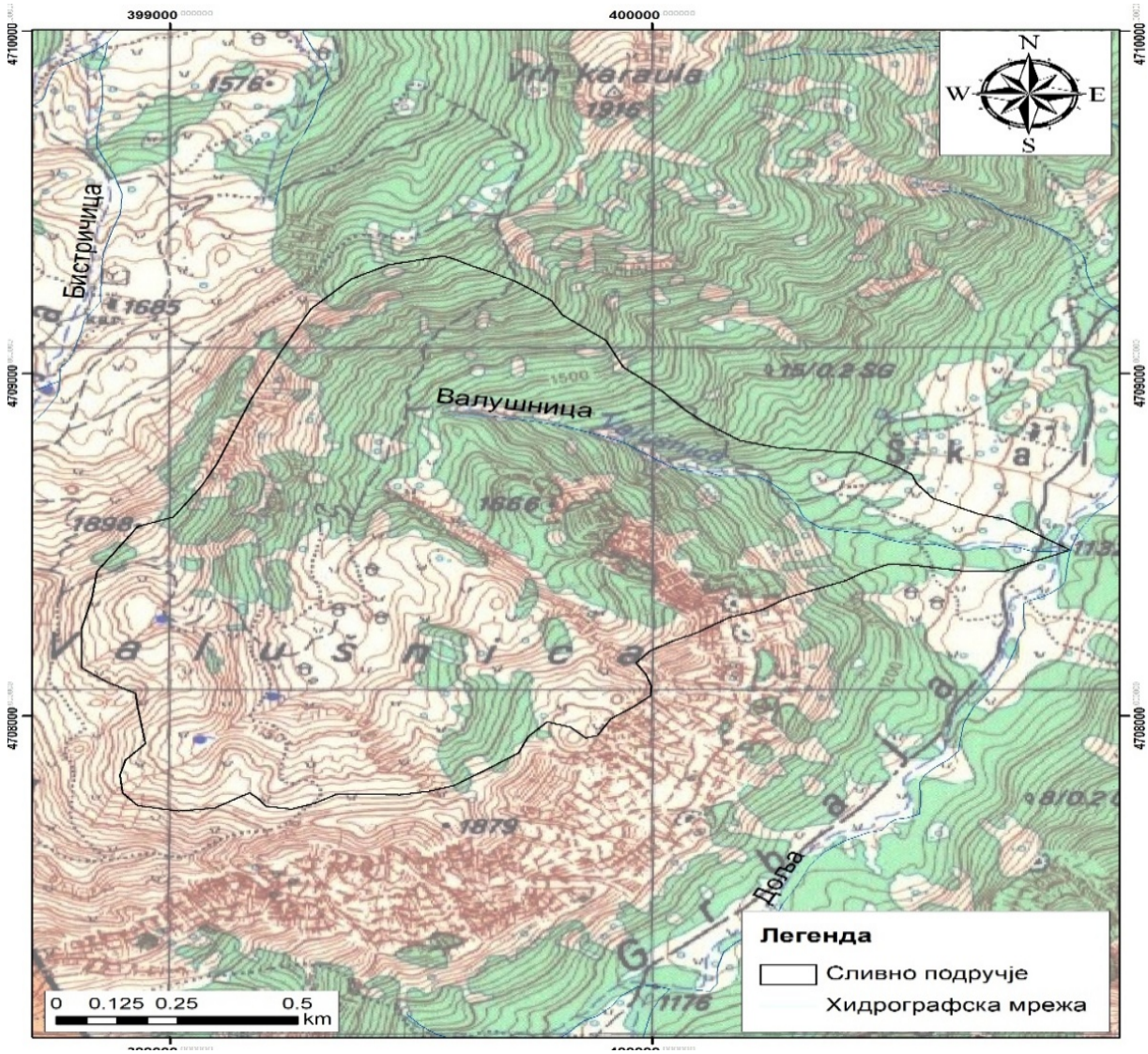
Биотехничке мјере се заснивају на екосистемским капацитетима вегетације да контролише ерозионе процесе. Пошумљавање и стабилизација обала жбунастом вегетацијом не само да доприносе механичкој консолидацији земљишта, већ и редукују интензитет површинског отицања кроз интерцепцију падавина и повећану инфилтрацију. Контурна садња и формирање травних појасева, нарочито у сливовима као што су Кукића и Мартиновићки поток, искуствено су провјерене као ефикасне технике у сузбијању браздасте и површинске ерозије на падинама са средњим до јаким нагибима. Терасирање и контрола паше су мјере које смањују хидролошки одзив слива на падавине, умањују губитак плодног земљишта и подстичу обнову вегетационог покривача. У сливовима гдје је примијећена јака активност сточарства, попут Вишњевског и Кукића потока, примјена ових мјера је есенцијална за заустављање деградацијских процеса. Забрана депоновања отпада, увођење редовног мониторинга наноса и едукација локалног становништва представљају мјере које омогућавају да техничке интервенције дају трајне резултате. Управо у сливовима гдје је присутно несанитарно одлагање отпада и слаба контрола коришћења земљишта, као у Радончића и Вишњевском потоку, улога локалне заједнице и управљачких структура је пресудна за успјех сваке мјере. У Табели 8.14. дати су предрачуни трошкова антиерозионих мјера за бујичне потоке у сливу Плавског језера.

Табела 8.14. Укупни трошкови антиерозионих мјера за бујичне потоке слива Плавског језера

Слив/поток	Врста радова	Јединица	Количина	Јединична цијена (EUR)	Укупно (EUR)
Сулејман Сејтов поток	Пошумљавање деградираних површина и обала (биолошке мјере)	ha	7	1.500	10.500
	Затрављивање травним смјешама (биолошке/биотехничке мјере)	ha	5	1.200	6.000
	Стабилизација косина и обала вегетацијом и фашинама (биотехничке мјере)	km	2	15.000	30.000
	Камени прагови у средњем току, hk = 0,5 m	ком	2	2.000	4.000
	Камени прагови у доњем току, hk = 1,0 m	ком	2	3.000	6.000
	Укупно – Сулејман Сејтов поток				**56.500**
Бистричица	Пошумљавање (стрме голети и приобаље)	ha	10	1.500	15.000
	Затрављивање огољених површина	ha	6	1.200	7.200
	Стабилизација косина и фашине	km	2	15.000	30.000
	Бујичне преграде (hk = 2 m)	ком	2	15.000	30.000
	Камени прагови (hk = 0,5–1,0 m)	ком	4	2.000	8.000
	Ретензиона преграда (hk=3 m)	ком	1	25.000	25.000
	Укупно – Бистричица				**115.200**
Бјелићки поток	Затрављивање	ha	5	1.200	6.000
	Пошумљавање приобаља	ha	5	1.500	7.500
	Стабилизација косина и жбуње	ha	4	1.200	4.800
	Бујичне преграде (hk = 2,0 m)	ком	5	15.000	75.000
	Рустикални потпорни зидови	km	0,5	20.000	10.000
	Ретензиона преграда (hk = 3,0 m)	ком	1	25.000	25.000
	Укупно – Бјелићки поток				**128.300**
Мартиновићки поток	Пошумљавање (контурно и приобално)	ha	6	1.500	9.000
	Контрола паше и садња жбуња	ha	4	1.200	4.800
	Садња врбе и биотехничко ојачање обала	km	1,5	15.000	22.500

	Бујичне преграде (hk=2m)	ком	5	15.000	75.000
	Каскадни прагови	ком	2	2.000	4.000
	Укупно – Мартиновићки поток				**115.300**
Вишњевски поток	Пошумљавање (деградиране површине и приобаље)	ha	6	1.500	9.000
	Садња жбуња и биолошко ојачање обала	ha	4	1.200	4.800
	Фашине и стабилизација обала	km	1,5	15.000	22.500
	Бујичне преграде (hk = 2,0 m)	ком	6	15.000	90.000
	Укупно – Вишњевски поток				**126.300**
Кукића поток	Пошумљавање (деградиране површине и падине)	ha	7	1.500	10.500
	Затрављивање травно-легуминозним смјешама	ha	5	1.200	6.000
	Фашине	km	2	15.000	30.000
	Камени прагови у кориту, hk = 0,5 m	ком	2	2.000	4.000
	Камени прагови у кориту, hk = 1,5 m	ком	2	5.000	10.000
	Укупно – Кукића поток				**60.500**
Радончића поток	Пошумљавање и затрављивање	ha	8	1.400	11.200
	Озелењавање, жбуње и фашине	km	1,5	15.000	22.500
	Бујичне преграде (hk = 2,0 m)	ком	2	15.000	30.000
	Бујична преграда (hk = 3,0 m)	ком	1	25.000	25.000
	Ретензиона преграда	ком	1	25.000	25.000
	Укупно – Радончића поток				**113.700**
Укупно за све потоке 715.800, 00 EUR					

Слив Валушнице (Слика 8.11), лијеве притоке ријеке Доље, представља специфичан хидролошко-геоморфолошки систем у којем доминирају суви токови, јаруге испуњене наносом велике гранулације и ограничена површинска хидрографска мрежа.

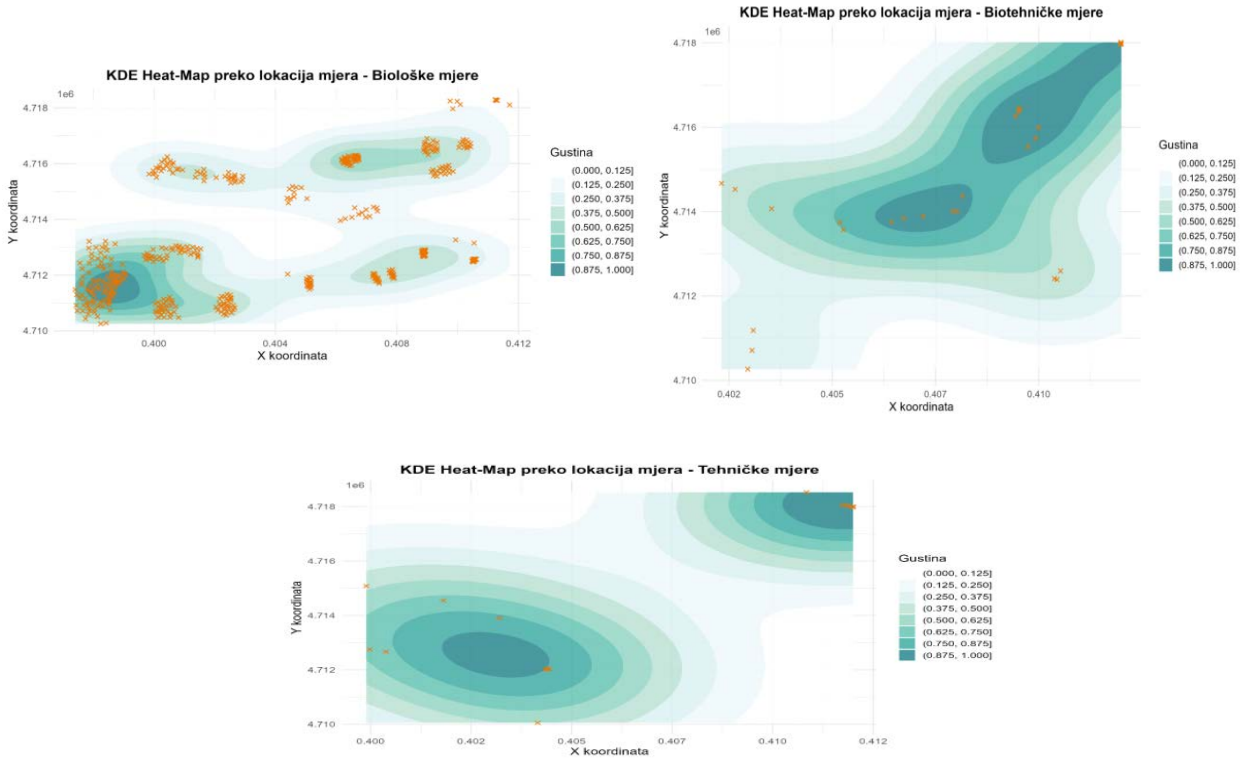


Слика 8.11. Слив Валушнице, притока Дође (извор: аутор)

Готово стално одсуство текуће воде у горњем дијелу слива, посебно у долини Гребаје, указује на изражену инфилтрацију и изостанак сталног отицања, док акумулација грубог наноса указује на високу ерозиону активност у претходним хидролошким циклусима.

Највећу пријетњу у овом сливу представљају бујични токови високог енергетског потенцијала, који се активирају током интензивних падавина, носећи са собом велике количине крупних камених фракција. Са аспекта техничке заштите, неопходна је изградња гравитационих ретензионих преграда у доњем дијелу активних јаруга, које ће дјеловати као примарни филтер за задржавање чврстог материјала. Поред тога, постављање система прагова и плетера омогућава постепено расипање енергије воде и смањење ерозионог потенцијала у зонама највећег пада. С обзиром на сушне услове и високу осјетљивост терена на деградацију,

препоручује се контурна садња аутохтоних дрвенастих врста, као што су бреза и бијели бор, на нагнутим површинама. У доњем дијелу јаруга и зонама са нагомиланим наносом, увођење травно-легуминозних појасева имаће улогу биолошког филтра, који задржава фине фракције, унапређује инфилтрацију и смањује секундарну ерозију. Мјере стабилизације падина су кључне за зону Гребаје (Прилог 5 л), која показује знаке морфоструктурне нестабилности. Дренажа ерозивних шкољки и браздастих депресија представља приоритет, како би се предуприједило формирање клизишта и појава секундарних бујичних процеса. Додатно, конструктивно ојачање критичних дионица примјеном потпорних камених структура доприноси повећању механичке стабилности терена. Иако је пољопривредна активност у сливу Валушнице минимална, не треба занемарити значај агро-мјера. Контрола пашњачких површина и увођење зона ограниченог приступа за стоку представљају важне кораке у очувању вегетацијског покривача. Уколико се појави привремени притисак на земљиште (сјеча шуме, сакупљање огријева и сл.), неопходно је примијенити систем компензационих мјера кроз пошумљавање и санацију терена. Увођење система мониторинга кретања наноса, уз употребу дрон технологије и метео-станица, омогућило би благовремену реакцију у случају појачаног бујичног ризика. Такође, због све већег броја туристичких посјета Гребаји, неопходно је установити зоне забрањене градње, као и спровести едукацију локалног становништва и посјетилаца о важности очувања природне равнотеже слива.



Слика 8.12. KDE Heat-Map (густине мјера) са приказом координата интервенција у сливовима Луче, Врује, Грнчара

9. ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА

Идеја израде ове докторске дисертације била је израда модела интегралне противерозионе заштите непосредног окружења слива Плавског језера, на потезу од државне границе са Албанијом до Плава. Основни циљ био је научно дефинисати утицај природних и антропогених фактора на развој ерозионих и бујичних процеса, као и израдити интегрални систем мјера који ће омогућити дугорочну стабилизацију слива и очување Плавског језера као јединственог хидроморфолошког и еколошког система.

На основу анализираних података и спроведених истраживања утврђено је сљедеће:

-Гранулометријски састав ријеке Луче карактерише доминација пјесковитог наноса, уз минимално учешће шљунка и финих фракција. Дуж тока је задржана природна просторна градација седимената – од грубљих (шљунка) узводно ка финијим (глине, пијесак) низводно. Висок степен сортирања и ниске вриједности коефицијента неједнородности указују на уједначене хидродинамичке услове и стабилан режим транспорта наноса, са доминацијом селективног преноса честица сличне гранулације.

-На основу спроведених истраживања педолошких карактеристика утврђено је да типови земљишта у сливу Плавског језера имају значајан утицај на интензитет и просторну расподјелу ерозионих процеса. У горњим дијеловима слива, на падинама планине Виситор, гдје су заступљена плитка и слабо развијена земљишта на кречњацима и рендзине, изражена је повећана осјетљивост на ерозију и генерисање наноса. У сливовима бујичних потока као што су Доља, Радончића и Сулејманов поток, као и у зони Бјелићког потока, делувијални наноси и нестабилна земљишта додатно погодују развоју ерозионих процеса. У долинским дијеловима ријека Луче, Врује и Грнчара, алувијална и делувијална земљишта имају значајну улогу у акумулацији и транспорту наноса према Плавском језеру.

-Анализа начина коришћења земљишта у сливу Плавског језера показује да доминирају шумске површине, које имају кључну улогу у стабилизацији терена и смањењу ерозије, док значајно учешће пашњака, деградираних површина и голети указује на изражен антропогени утицај и повећану осјетљивост на ерозионе процесе. Посебно су угрожени сливови притока (Доља, Радончића, Сулејман-Сејтов поток, Вишњевски поток), гдје висок удио голети, деградираних шума и пашњака, као и присуство насеља, интензивирају површинско отицање и транспорт наноса. У сливу Бијелог потока доминација насеља и деградираних шума додатно појачава антропогени притисак и ерозију. Оваква структура коришћења земљишта директно утиче на повећање продукције наноса и убрзано засипање Плавског језера.

- Испитивања квалитета воде показала су да су концентрације тешких метала у води ријеке Луче углавном испод прописаних граничних вриједности, при чему су најзаступљенији никал (Ni) и арсен (As), док су концентрације кадмијума (Cd), бакра (Cu), живе (Hg), цинка (Zn), олова (Pb) и гвожђа (Fe) ниске и без значајног ризика по квалитет воде. Насупрот томе, у седименту је уочена повишена акумулација никла (Ni), као и повећане концентрације арсена (As) и гвожђа (Fe), што указује на интензивније геохемијске и ерозионе процесе и потенцијалан ризик по екосистем.

- Анализа ерозионих процеса у сливу Плавског језера показала је да слив у цјелини припада подручјима слабог интензитета ерозије (Z=0,36), али са израженим просторним разликама између појединих притока. Најнеповољнији ерозиони услови утврђени су у сливу Врује, са високим коефицијентом ерозије (Z=0,55) и специфичним проносом наноса (Ggodsp=1.366,56 $m^3/km^2/god^{-1}$), што је издваја као подручје средњег интензитета ерозије и значајан извор наноса.

Највећи укупни пронос наноса забиљежен је у сливу Луче (Ggod=162.778,28 m^3/god), што је посљедица велике површине слива и интензитета ерозионих процеса. Врује се издваја по највећем специфичном проносу, што указује на њен изузетан значај у процесу засипања Плавског језера. Грнчар има умјерен допринос укупном билансу наноса, док Бијели поток, иако мале површине, локално може представљати извор ерозионог материјала.

Унутар мањих бујичних сливова, најизраженији допринос продукцији и проносу наноса имају Доља, Бистричица, Бјелићки и Мартиновићки поток, док су Радончића и Вишњевски поток знатно стабилнији. Заједничка карактеристика готово свих анализираних сливова јесте доминација суспендованог наноса у односу на вучени, што показује да се највећи дио ерозионог материјала према језеру транспортује у ситнијим фракцијама. Добијени резултати потврђују да су Луча и Врује са својим притокама кључни носиоци ерозионог материјала и главни фактори у процесу засипања и морфолошких промјена Плавског језера, што их издваја као приоритетна подручја за примјену интегралних противерозионих мјера.

- Анализирани индекси загађења седимената показали су да већина тешких метала има концентрације у оквиру природних вриједности (CF<1; EF< 1; Igeo < 0), док су благо повишене вриједности утврђене за арсен (CF до 2,11; EF до 3,25; Igeo до 0,49), што указује на класу незагађено до слабо загађено и могућ ограничен антропогени утицај. Никл (CF до 1,56) такође указује на умјерен степен обогаћења. Интегрални индекси показују кумулативно оптерећење седимената (PLI=1,54–2,76), док Немеров индекс (PI_N=0,93–1,49) указује на подручје предострожности и слабо загађење. Укупни индекс еколошког ризика (RI=284,96–385,08)

сврстава све локације у класу врло високог ризика, при чему највећи допринос дају гвожђе (Fe) и жива (Hg). Ови резултати показују да ерозиони процеси у сливу имају значајну улогу у транспорту и акумулацији тешких метала у седименту.

-Предложени систем противерозионих мјера у сливу Плавског језера заснива се на интегралном приступу који обједињује биолошке, биотехничке, техничке интервенције, усклађене са природним карактеристикама и степеном угрожености појединих сливова. Добијени резултати показују да су притоке Луча, Врује, Дољa, Грнчар и Бијели поток, као и њихови бујични токови, главни извори ерозионог материјала који утиче на засипање Плавског језера, због чега представљају приоритетне зоне за примјену мјера заштите.

-Примјена пошумљавања, затрављивања, мелиорације пашњака, терасирања, контурних ровова, микроретензионих појасева, бујичних преграда, регулације корита и стабилизације обала омогућила би смањење површинског отицања, редукцију продукције и проноса наноса, стабилизацију еродираних падина и смањење ризика од бујичних поплава. Посебан значај има зонирана примјена мјера у горњим, средњим и доњим дијеловима сливова, јер омогућава истовремено дјеловање на изворима ерозије, транспортним зонама и зонама акумулације наноса.

-Предложени модел потврђује да се само системским и дугорочним уређењем читавог сливног подручја може обезбиједити смањење уноса ерозионог материјала у Плавско језеро, очување његове запремине, стабилност водног режима и заштита насеља, пољопривредних површина и инфраструктуре. Стога предложене мјере представљају основу за одрживо управљање сливом Плавског језера и кључни предуслов за његову еколошку и хидролошку стабилизацију.

-Противерозионе мјере у сливу Плавског језера имају значајан утицај на смањење продукције и транспорта наноса, као и на смањење уноса тешких метала у језерски екосистем, с обзиром да се највећи дио метала транспортује везан за фину фракцију седимента. Литорална вегетација Плавског језера показује изражену функцију природне биолошко-хидрауличке баријере, јер задржава суспендовани материјал и стабилизује седимент, чиме се ограничава ремобилизација и ширење тешких метала у воденом систему. Присуство легуминозних и хигрофитних врста у приобалном појасу доприноси процесима фитостабилизације, повећању садржаја органске материје и формирању стабилних органо-металних комплекса, што доводи до смањења покретљивости и биодоступности метала.

-Биотехничке и техничке мјере, као што су плетери, системи преграда и прагова, и ретензионе зоне, значајно редукују енергију водотока и омогућавају таложење фине фракције седимента на коју су метали адсорбовани, чиме се ограничава њихово даље ширење низводно.

-Анализа малих и великих вода је показала да је режим малих вода ријеке Лим релативно стабилан и обезбјеђује основне еколошке услове, док су велике воде ријетке, али изразито интензивне и представљају кључни фактор ерозије, транспорта наноса и поплавног ризика у сливу Плавског језера.

-Топографска и батиметријска мјерења Плавског језера показала су да је у посматраном периоду дошло до значајних промјена морфометријских карактеристика језера, које се огледају у смањењу његове површине и запремине. У односу на податке из 1970-их година, површина језера је смањена за око 10%, док је запремина редукована за приближно 17%, што јасно указује на интензиван процес акумулације наноса и постепено исплићавање језерског басена.

-Просторна анализа показала је да се таложење наноса одвија превасходно у приобалним и уливним зонама, док су централни дијелови језера мање захваћени седиментацијом. Овакав образац потврђује доминантан утицај притока, нарочито ријеке Луче, у процесу транспорта и депоновања ерозионог материјала. Поређење батиметријских мјерења из 2008. и 2017. године показало је континуитет ових процеса, без значајних промјена у кориту ријеке Лим на излазном профилу, што додатно указује да је акумулација наноса унутар језера примарни фактор морфолошких промјена. Истовремено, резултати су показали да Плавско језеро нема довољан ретенциони капацитет да прихвати велике воде Луче, што доприноси интензивном уносу и таложењу наноса током поплавних догађаја.

-Иако је Плавско језеро препознато као природна вриједност од регионалног значаја, резултати истраживања указују да проблем ерозије у његовом сливу није системски рјешаван, нити је спровођен интегрални програм санације ерозионих процеса. До сада нису реализоване свеобухватне мјере које би истовремено обухватиле горње, средње и доње дијелове слива, као и улазне зоне притока у језеро. Интервенције су биле појединачне (Плавска ријека регулисана је на растојању од 300 метара, Грнчар-200 метара низводно код Гусиња, а Врује 1015 метара), краткорочне и без јасне просторне и процесне координације, што је онемогућило значајнији ефекат на смањење уноса наноса.

-Цјелокупно посматрано, истраживање је показало да је систем Плавског језера изразито осјетљив на промјене у сливу и да очување његове еколошке стабилности захтијева цјеловит

приступ који обједињује мониторинг ерозионих процеса, рационално управљање земљиштем и контролу уноса загађујућих супстанци.

-Синтетизујући све добијене резултате, у оквиру ове дисертације дефинисан је интегрални модел противерозионе заштите слива Плавског језера, који обухвата просторну дијагностику ерозионих, хидролошких, седиментолошких и геохемијских процеса, квантитативно одређивање продукције и транспорта наноса, процјену промјена коришћења земљишта и примјену биолошких, биотехничких, техничких мјера, те представља цјеловит и оперативан систем за дугорочно управљање наносом и очување стабилности језерског екосистема.

10. ЛИТЕРАТУРА

1. Abrahim, G.M.S., Parker, R.J. (2008): Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand, Environmental Monitoring and Assessment, 136, 227–238.
2. 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.
3. Al-Kahtany, K., Al-Hashim, M.H., El-Sorogy, A.S. (2024): Heavy metal(loid)s contamination and ecological-health risk assessment of coastal sediment from Salwa Bay, Saudi Arabia.
4. Alloway, B. J. (2013): Heavy metals in soils: Trace metals and metalloids in soils and their bioavailability (3rd ed.). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7.
5. Ananda, J., Herath, G.S. (2003): Soil erosion in developing countries: a socio-economic appraisal.
6. Andrič, M., Sabatier, P., Rapuc, W., Ogrinc, N. (2020): 6600 years of human and climate impacts on lake-catchment and vegetation in the Julian Alps (Lake Bohinj, Slovenia), Quaternary Science Reviews, 227, 106043.
7. Anđelković, A. (2019): Erozioni i sedimentacioni procesi na slivnim područjima malih vodnih akumulacija na području grada Beograda i Fruške gore, Doktorska disertacija, Beograd.
8. Arnaud, F., Revel, M., Chapron, E., Desmet, M., Tribovillard, N. (2005): 2000 years of paleohydrology recorded in lacustrine sediments from Lake Le Bourget (France), Sedimentary Geology, 181, 23–37.
9. Агенција за заштиту животне средине Републике Србије (SEPA), (2017): Годишњи извјештај о стању квалитета површинских вода у Републици Србији, Београд.
10. Babić Mladenović, M., Obušković, Z., Knežević, Z. (2003): Zasipanje akumulacija u Srbiji – problemi i pravci rešavanja, Vodoprivreda, 35, 387–393.
11. Bakker, M.M., Govers, G., Kosmas, C., Vanacker, K., van Oost, R., Rounsevell, M. (2004): Soil erosion as a driver of land-use change, Agriculture, Ecosystems and Environment, 105, 467–481.
12. Barbieri, M. (2016): The Importance of Enrichment Factor (EF) and Geoaccumulation Index (Igeo) to Evaluate the Soil Contamination, Journal of Geology and Geophysics, 5(1).
13. Bellwald, B., Nigg, V., Fabbri, S.C., Becker, L.W.M., Gilli, A., Anselmetti, F.S. (2023): Holocene seismic activity in south-eastern Switzerland: Evidence from the sedimentary record of Lake Silvaplana, Sedimentology.
14. Bešić, Z. (1980): Geologija Crne Gore, Zavod za geološka istraživanja Crne Gore, Titograd.

15. Begy, R.-C., Savin, C.-F., Korponai, J., Magyari, E., Kovács, T. (2024): Investigation of the last two centuries sedimentation dynamics in high-altitude lakes of the Southern Carpathians, Romania. Nature Publishing Group Scientific Reports, 14(1), 1391.
16. Bikić, F. (2013): Preliminary Analysis of Heavy Metals Content in the River Bosna Upstream and Downstream from the Industrial Plants in Zenica, Glasnik hemičara i tehnologa Bosne i Hercegovine.
17. Blaženčić, J., Blaženčić, Ž. (1994): Makrofite prokletijskih jezera i njihov fitofiltracioni značaj, u: Jovan Cvijić i Prokletije, Naučna monografija, Srpsko geografsko društvo.
18. Blinkov, I., Kostadinov, S. (2010): Applicability of various erosion risk assessment methods for engineering purposes, BALWOIS Conference, Ohrid, Macedonia.
19. Bonanno, G. (2011): Trace element accumulation and distribution in the organs of Phragmites australis (common reed) and biomonitoring applications. Ecotoxicology and Environmental Safety, 74(4), 1057–1064. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2011.01.018
20. Borrelli, P., Robinson, D.A., Fleischer, L.R., Lugato, E., Ballabio, C., Alewell, C., Panagos, P. (2017): An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion, Nature Communications.
21. Borselli, L., Cassi, P., Torri, D. (2008): Prolegomena to sediment and flow connectivity in the landscape: A GIS and field numerical assessment, Catena, 75(3), 268–277.
22. Brancelj, A. (2002): Ecological characteristics of Bohinj Lake (Slovenia): water balance and sediment processes, Hydrobiologia.
23. Brown, L.R., Wolf, E.C. (1984): Soil erosion: The Quiet Crisis in the World Economy, Worldwatch Paper No. 60, Washington, DC.
24. Bu J., Sun Z., Zhou A., Xu Y., Ma R., Wei W., Liu M. (2016): Heavy Metals in Surface Soils in the Upper Reaches of the Heihe River, Northeastern Tibetan Plateau, China, International Journal of Environmental Research and Public Health 13, 247.
25. Bonanno, G. (2011): Trace element accumulation and distribution in the organs of Phragmites australis (common reed) and biomonitoring applications. Ecotoxicology and Environmental Safety, 74(4), 1057–1064. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2011.01.018.
26. Бухин, М.Н. (1972): Об учете неоднородности частиц наносов при определении гидроморфологических характеристик речних русл, Сборник научних трудов: Ерозионие и селевие процеси и борба с ними, выпуск 1, 30–36, Москва.
27. Bufalini, M., Materazzi, M., Martinello, C., Rotigliano, E., Pambianchi, G., Tromboni, M., Paniccià, M. (2022): Soil Erosion and Deposition Rate Inside an Artificial Reservoir in Central Italy: Bathymetry versus RUSLE and Morphometry, Land, 11(11), 1924.

28. Burić, D. (2010): Хидролошке карактеристике ријеке Лим, Географски институт „Јован Цвијић“ САНУ, Београд.
29. Burić, D., Ducić, V., Luković, J. (2011): Kolebanje klime u Crnoj Gori u drugoj polovini XX i početkom XXI vijeka, Podgorica.
30. Burić, M., Knežević, M., Radulović, M. (2017): Zemljišta Crne Gore: rasprostranjenost, osobine i namjena, Univerzitet Crne Gore, Biotehnički fakultet.
31. Caković, D., Stešević, D. (2013): Katalog vaskularne flore Crne Gore, Podgorica, CANU.
32. Carrivick, J.L. (2021): Geomorphology of proglacial systems, Cambridge University Press.
33. Chen, H., Teng, Y., Lu, S., Wang, Y., Wang, J. (2015): Contamination features and health risk of soil heavy metals in China, Science of the Total Environment, 512–513, 143–153.
34. Chen, L., Gong, J., Fu, B., Huang, Z. (2007): Effect of land-use conversion on soil organic carbon sequestration in the loess hilly area, Loess Plateau of China, Ecological Research, 22(4), 641–648.
35. Chipev, N. (2006): Heavy metals in the surface waters of Bulgarian rivers, Bulgarian Journal of Agricultural Science, 12, 205–212.
36. Ciszewski, D., Grygar, T.M. (2016): A review of flood-related storage and remobilization of heavy metal pollutants in river systems, Water, Air, & Soil Pollution, 227(7), 239.
37. Choudhary, R., Sharma, S., Gautam, S.K. (2024): Contour farming and strip cropping for soil protection, u: Soil conservation techniques and erosion control, Golden Leaf Publishers.
38. Chow, V.T., Maidment, D.R., Mays, L.W. (1988): Applied hydrology, McGraw-Hill.
39. CSQG (Canadian Council of Ministers of the Environment) -CCME, (2001): Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life. Winnipeg, Canada.
40. Cvijić, J. (1994): Jovan Cvijić i Prokletije: Naučna monografija, Beograd, Srpsko geografsko društvo.
41. Čakmak, D., Perović, V., Antić, M.S., Kresović, M., Saljnikov, S., Mitrović, M., Pavlović, P. (2018): Contamination, risk, and source apportionment of potentially toxic microelements in river sediments and soil after extreme flooding in the Kolubara River catchment in Western Serbia, Journal of Soils and Sediments, 18, 1981.
42. Ćalić, J. (2011): Dinarides and the Balkan Peninsula: geomorphological and geological overview, Serbian Academy of Sciences and Arts.
43. Dakora, F. D., Phillips, D. A. (2002): Root exudates as mediators of mineral acquisition in low-nutrient environments. *Plant and Soil, 245*(1), 35–47. https://doi.org/10.1023/A:1020809400075

44. 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, 8(1), 75–82.
45. De Cesare, G., Beyer Portner, N., Boillat, J., Schleiss, 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.
46. 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(1–2), 95–125.
47. Dević, G., Sakan, S., Đorđević, D. (2015): Assessment of the environmental significance of nutrients and heavy metal pollution in the river network of Serbia, Environmental Science and Pollution Research, 23(1), 282.
48. DHS, Department of Hydrometeorology and Seismology of Montenegro (2022): State of Water Quality in Montenegro 2022, Podgorica.
49. Dillaha, T.A., Reneau, R.B., Mostaghimi, S., Lee, D. (1989): Vegetative filter strips for agricultural nonpoint source pollution control, Transactions of the ASAE, 32(2), 513–519.
50. Drašković, B., Drešković, N., Mirić, N. (2016): East Sarajevo (Bosnia and Herzegovina) twenty years later changes in land use, Geographica Pannonica.
51. Dragićević, N., Karleuša, B., Ožanić, B. (2016): Pregled primjene Gavrilovićeve metode (metoda potencijala erozije), Građevinar, 9/2016.
52. Dragićević, S., Pripužić, M., Živković, N., Novković, I., Kostadinov, S., Langović, M., Milojković, B., Čvorović, Z. (2017): Spatial and Temporal Variability of Bank Erosion during the Period 1930–2016: Case Study – Kolubara River Basin (Serbia), Water, 9(10), 748.
53. Dukić, D., Gavrilović, L. (2006): Hidrologija, Beograd.
54. DUP (2020): Detaljni urbanistički plan opštine Plav, Izvještaj o strateškoj procjeni uticaja na životnu sredinu.
55. Durlević, U., Momčilović, A., Ćurić, V., Dragojević, M. (2019): GIS application in analysis of erosion intensity in the Vlasina River Basin, Glasnik srpskog geografskog društva, 99(2), 17–36.
56. Đorović, M. (1975): Gubici zemljišnog materijala i vode dejstvom erozije s raznih tipova zemljišta u SR Srbiji, Beograd.
57. Đorđević, M., Jovanovski, S., Lazarević, R. (1987): Erozija u SFR Jugoslaviji, u: Prvo jugoslovensko savjetovanje o eroziji i uređenju bujica, 11–25, Lepenski Vir.
58. Đorđević, M., Dukić, D. (1959): Vode u NR Crnoj Gori, Zbornik radova V kongresa geografa FNRJ, Cetinje.

59. Đokić, V., Živaljević, M., Perović, Z. (1976). Karta i tumač Osnovne geološke karte – list Gusinje (K 34-52), R 1:100.000. Beograd: Savezni geološki zavod.
60. EPA, Environmental Protection Agency (2021): Framework for Metals Risk Assessment.
61. European Commission. (2006): Thematic strategy for soil protection (COM(2006) 231 final). Brussels: European Commission.
62. Ergin, M., Saydam, C., Baştürk, Ö., Erdem, E., Yörük, R. (1991): Heavy metal concentrations in surface sediments from the two coastal inlets (Golden Horn Estuary and Izmit Bay) of the northeastern Sea of Marmara, Chemistry and Ecology, 5(3–4), 269–285.
63. Eswaran, H., Lal, R., Reich, P.F. (2001): Land degradation: an overview, u: Bridges, E.M. et al. (eds), Responses to land degradation.
64. European Standard (2016): Geotechnical investigation and testing – Laboratory testing of soil – Part 4: Determination of particle size distribution (ISO 17892-4:2016).
65. Evans, R. (2006): Land use, sediment delivery and sediment yield in England and Wales, u: Soil erosion and sediment redistribution in river catchments: measurement, modelling and management, 70–84.
66. 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.
67. Emmanouloudis, D., Filippidis, E. (2006): 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.
68. Fanetti, D., Vezolli, 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.
69. FAO -Food and Agriculture Organization of the United Nations (2015): World reference base for soil resources 2014, update 2015.
70. Foster, G.R., Lane, L.J. (1987): User requirements – USDA Water Erosion Prediction Project (WEPP), NSERL Report 1.
71. Francke, A., Wagner, B., Leng, M. J., Rethemeyer, J. (2013). A Late Glacial to Holocene record of environmental change from Lake Dojran (Macedonia, Greece). Climate of the Past, 9(1), 481–498.
72. Gabrovec, M., Hrvatin, M. (2012): Human impact on alpine lake catchments in Slovenia, Acta Geographica Slovenica.
73. Gałuszka, A., Migaszewski, Z.M. (2011): Geochemical background – an environmental perspective, Mineralogia, 42(1), 7–17.

74. Gâștescu, P., Driga, B. (2013): Bathymetric and Sedimentological Changes of Glacial Lake Stiol, Rodna Massif, Romania, Geographia Napocensis, 7(2), 45–54.
75. Gâștescu, P., Driga, B., Breier, A. (2013): Sedimentation processes in alpine and glacial lakes of the Romanian Carpathians: The case of Lake Stiol (Rodna Mountains), Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences, 8(2), 135–146.
76. Gavrilović, S. (1960): Kratki kurs iz zaštite zemljišta od erozije i uređenje bujičnih tokova, Beograd.
77. Gavrilović, S. (1961): Proračun srednje godišnje količine nanosa prema potencijalu erozije, Glasnik Šumarskog fakulteta, Beograd.
78. Gavrilović, S. (1962): Proračun srednje-godišnje količine nanosa prema potencijalu erozije, Glasnik Šumarskog fakulteta, 26.
79. Gavrilović, S. (1964): Nauka o eroziji zemljišta i bujičnim tokovima, Knjiga prva, Beograd.
80. Gavrilović, S. (1965a): Bujične poplave i klasifikacija tokova, Izdanje dokumentacije za građevinarstvo i arhitekturu, sv. 88, Beograd.
81. Gavrilović, S. (1965b): Određivanje maksimalnih i godišnjih protoka voda u bujičnim slivovima i erozionim područjima, Izdanje dokumentacije za građevinarstvo i arhitekturu, sv. 88, Beograd.
82. Gavrilović, S. (1965c): Određivanje režima nanosa bujičnog područja i izrada karata erozije, DGA, Beograd.
83. Gavrilović, S. (1972): Inženjering o bujičnim tokovima i eroziji, Izgradnja, posebno izdanje.
84. Gavrić, S. (2021): Mehanika tla – laboratorijska ispitivanja i granulometrijska analiza, Univerzitet u Banjoj Luci.
85. Gardić, V., Chipev, N., Mitov, K., Stanković, S., Hristova, R., Petrović, J., Ivanović, A. (2013): Environmental risk assessment of the mining industry in a transboundary region between Bulgaria and Serbia, u: Štrbac, N. (ed.), 45th International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor, 813.
86. Girardclos, S., Sturm, M., Schmidt, O.T., Ariztegui, D., Pugin, A., Anselmetti, F.S. (2007): A multi-proxy study of sedimentation processes in Lake Geneva, Aquatic Sciences, 69, 118–131.
87. Gilbert, N. (2018): European Union debates controversial plans to limit cadmium in fertilizer, Science, 359(6373), 110–111.
88. Globevnik, L., Holjevik, D., Petkovsek, G., Rubinic, J. (2003): Applicability of the Gavrilovic method in erosion calculation using spatial data manipulation techniques, u: De Boer, D. et al. (eds), Erosion Prediction in Ungauged Basins: Integrating Methods and Techniques, IAHS Publication, 279, 222–233.

89. Golosov, V.N., Walling, D.E. (2019): Erosion and sediment problems: Global hotspots, UNESCO, Paris.
90. Grban, V., Barović, G., Sestras, P., Curović, D., Škatarić, G., Mohammadi, M., Darvishan Abdulvahed, B. (2018): Geographical factors as determinants of soil erosion intensity: Case study Bijeli Potok, Montenegro.
91. Håkanson, L. (1980): An ecological risk index for aquatic pollution control: a sedimentological approach, Water Research, 14(8), 975–1001.
92. Håkanson, L. (1981): A manual of lake morphometry, Berlin, Springer-Verlag.
93. Hannam, I. Boer, B. (2002): Legal and institutional frameworks for sustainable soils: a preliminary report, IUCN, Gland and Cambridge.
94. Harikumar, P.S., Jisha, T.S. (2010): Distribution Pattern of Trace Metal Pollutants in the Sediments of an Urban Wetland in the Southwest Coast of India.
95. Hassan, M.A., Salazar, J., Lobb, D.A., Menounos, B. (2011): A lake sediment-based proxy of floods in the Rocky Mountain Front Ranges, Canada, Journal of Paleolimnology, 45(2), 137–149.
96. Heymann, Y., Steenmans, C., Croissille, G., Bossard, M. (1994): CORINE Land Cover, Technical Guide, Office for Official Publications of the European Communities.
97. Hidrometeorološki zavod Crne Gore (2008): Projekat batimetrijskog i geodetskog snimanja Plavskog jezera (geodetski premjer obale 18–30.08.2008). Podgorica: Sektor za hidrografiju i okeanografiju.
98. Hinderer, M. (2001): Late Quaternary denudation of the Alps: A review of tectonic and climatic controls, International Journal of Earth Sciences, 90, 77–95.
99. Hobbs, F., Chan, C. (1990): AutoCAD as a cartographic training tool: a case study, Computer-Aided Design, 22(3), 151–157.
100. Iqbal, J., Shah, M.H. (2015): Study of Selected Metals Distribution, Source Apportionment, and Assessment in Suburban Soil, Pakistan, Journal of Chemistry.
101. Izvještaj o strateškoj procjeni uticaja na životnu sredinu prostorno-urbanističkog plana opštine Plav, (2020).
102. Institut Jaroslav Černi (2018): Studija revitalizacije i zaštite Plavskog jezera, Beograd.
103. Илић, Р. (1994): Водни биланс слива Плавског језера, у: Јован Цвијић и Проклетије – научна монографија, Београд, 46–49.
104. Јанковић, М.М. (1972): Заштита и обнова биосфере и екосистема Проклетија, из аспекта садашњег стања флоре и вегетације на њима, Гласник Института за ботанику и Ботаничке баште Универзитета у Београду, VII, 1–4.

105. Jiang, Y., Chao, S., Liu, J., Yang, Y., Chen, Y., Zhang, A., Cao, H. (2017): Source apportionment and health risk assessment of heavy metals in soil for township in Jiangsu Province, China, Chemosphere, 168, 1658–1668.
106. Joksimović, M.M. (2016): Specifični oblici turizma u funkciji razvoja Gornjeg Polimlja, Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Geografski fakultet.
107. Kadović, R. (1999): Protiverozioni agroekosistemi – konzervacija zemljišta, Šumarski fakultet, Beograd.
108. Kadlec, R. H., Wallace, S. D. (2009): Treatment wetlands (2nd ed.). CRC Press.apa.
109. 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, Tara Mountain, Serbia.
110. Karger, D.N., Conrad, O., Böhner, J., Kawohl, T., Kreft, H., Soria-Auza, R.W., Zimmermann, N.E., Linder, H.P., Kessler, M. (2017): Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas, Scientific Data, 4, 170122.
111. Karydas, C.G., Panagos, P., Gitas, I.Z. (2014): A classification of water erosion models according to their geospatial characteristics, International Journal of Digital Earth, 7(3), 229–250.
112. 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), 1–11.
113. Kicińska, A., Turek, K. (2017): Establishing geochemical background of elements present in soil and its application in the evaluation of soil pollution based on data collected in the Beskid Sądecki region, Geoinformatica Polonica, 16, 87–99.
114. Kilibarda, M., Protić, D., Nestorov, I. (2010): Application of Google Maps API service for creating web map of information retrieved from CORINE land cover databases, Glasnik Srpskog geografskog društva, 90, 103–114.
115. Knežević, M. (1979): Плавско-гусињски регион: услови за развој туризма, Београд, Српско географско друштво.
116. Knežević, M., Кићовић, Д.М. (2004): Природне специфичности полимских Проклетија у светлу активне заштите, Гласник Српског географског друштва, 84(1), 89–100.
117. Knežević, M., Košanin, O. (2007): Pedologija, Beograd, Šumarski fakultet.
118. Knežević, M., Košanin, O. (2007): Praktikum iz pedologije, Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet.

119. Kostadinov, S. (1999): Bujični tokovi i erozija, Šumarski fakultet, Beograd.
120. Kostadinov, S. (2008): Bujični tokovi i erozija, Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet.
121. Kostadinov, S., Braunović, S., Dragićević, S., Zlatić, M., Tošić, R. (2014): Soil erosion and torrential floods in Serbia: Causes and consequences, Faculty of Forestry, University of Belgrade.
122. Kostadinov, S., Dragićević, S., Zlatić, M., Dragović, N., Ristić, R. (2014): Torrential flood risk assessment and mitigation in small mountainous watersheds in Serbia, Natural Hazards, 72(2), 1091–1110.
123. Kostadinov, S., Marković, S. (1996): Soil erosion and effects of erosion control works in the torrential drainage basins of southeast Serbia, u: Erosion and Sediment Yield: Global and Regional Perspectives, IAHS Publication, 236, 321.
124. Kuhlman, T., Reinhard, S., Gaff, A. (2010): Estimating the costs and benefits of soil conservation in Europe, Land Use Policy, 27(1), 22–32.
125. Labus, D. (1980): Hidrogeografske karakteristike Prokletija. Beograd: Geografski institut „Jovan Cvijić“ SANU.
126. Lakušić, R. (1961): New stations of Pinus heldreichii in the mountains of Montenegro, Naše šumarstvo, 15(10–12), 623–630.
127. Lazarević, R. (1970): Erozija u Jugoslaviji, Beograd, Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“.
128. Lazarević, R. (1996): Erozija u Crnoj Gori, Erozija, stručno-informativni bilten, 23, Beograd.
129. Lense, G.H.E., Lämmle, L., Ayer, J.E.B., Lama, G.F.C., Rubira, F.G., Mincato, R.L. (2023): Modeling of Soil Loss by Water Erosion and Its Impacts on the Cantareira System, Brazil, Water, 15(8), 1490.
130. Лешчешен, И. (2019): Протицајни режим великих вода Дунава, Саве, Тисе и Драве у Панонском басену, Докторска дисертација, Нови Сад.
131. Li, Y., You, Z.-J., Ma, Y., Ren, B. (2023): Quantitative assessment of the shoreline protection performance of geotextile sandbags at an in-situ coastal experimental station, Geotextiles and Geomembranes, 51(3), 371–380.
132. Loska, K., Cebula, J., Pelczar, J., Wiechula, D., Kwapulinski, J. (1995): Use of enrichment and contamination factors together with geoaccumulation indexes to evaluate the content of Cd, Cu, and Ni in the Rybnik Water reservoir in Poland, Water, Air, and Soil Pollution, 93, 347–365.
133. Loska, K., Wiechula, D., Korus, I. (2004): Metal contamination of farming soils affected by industry, Environment International, 30, 159–165.

134. Loveland, P.G., Whalley, W.R. (2000): Particle Size Analysis, u: Soil and Environmental Analysis, 2nd ed.
135. Lovrić, N., Tošić, R. (2018): Assessment of soil erosion and sediment yield using erosion potential method: Case study – Vrbas river basin (B&H), Glasnik srpskog geografskog društva, 98(1).
136. Luka, J. (2016): Osobine i primjena parametarskih metoda određivanja otjecanja, Diplomski rad, Univerzitet u Zagrebu.
137. Lutovac, M. (1957): Ivangradska (Beranska) kotlina, Beograd.
138. Malaviya, S., Munsi, M., Oinam, G., Kumar Joshi, P. (2010): Landscape approach for quantifying land use land cover change (1972–2006) and habitat diversity in a mining area in Central India, Environmental Monitoring and Assessment, 170(1–4), 215–229.
139. Marić, D., Krivokapić, M. (1991): Problemi poribljavanja voda Crne Gore sa osvrtom na salmonide, Poljoprivreda i šumarstvo, 37(3–4), 97–101.
140. MARD, Ministry of Agriculture and Rural Development, Ministry of Health and the Ministry of Sustainable Development and Tourism, (2019): Regulation for Determining the Status of Surface Waters, Podgorica.
141. Marković, M. (1970): Hidrologija, Građevinska knjiga, Beograd.
142. Marković, M., Zuliani, T., Belanović Simić, S., Mataruga, Z., Kostić, O., Jarić, S., Vidmar, J., Milačič, R., Ščančar, J., Mitrović, M., Pavlović, P. (2018): Potentially toxic elements in the riparian soils of the Sava River, Journal of Soils and Sediments, 18(12), 3404–3414.
143. Marković, S.B., Hambach, U., Stevens, T. (2012): Loess in the Danube basin and Drina river terraces, Quaternary International, 240, 94–109.
144. Martinović, V.M. (2015): Erozija zemljišta i bujice u crnogorskom primorju, Podgorica, Crnogorska akademija nauka i umjetnosti.
145. Maycock, D., Peters, A., Merrington, G., Crane, M. (2012): Proposed EQS for Water Framework Directive Annex VIII substances: Zinc (for consultation). Water Framework Directive United Kingdom Technical Advisory Group (WFD-UKTAG).
146. Mason, P.J. (2005): Remote sensing | GIS, Encyclopedia of Geology, 420–431.
147. Mazurek, R., Kowalska, J., Gąsiorek, M., Zadrożny, P., Józefowska, A., Zaleski, T., Kępka, W., Tymczuk, M., Orłowska, K. (2017): Assessment of heavy metals contamination in surface layers of Roztocze National Park forest soils (SE Poland) by indices of pollution, Chemosphere, 168, 839–850.

148. Meng, Y., Li, P., Xiao, L., Wang, R., Yang, S., Han, J., Hu, B. (2022): Heavy Metal Content and Pollution Assessment in Typical Check Dam Sediment in a Watershed of Loess Plateau, China, Sustainability, 14(14), 8597.

149. Micić Ponjiger, T., Lukić, T., Wilby, R.L., Marković, S.B., Valjarević, A., Dragićević, S., Gavrilov, M.B., Ponjiger, I., Durlević, U., Morar, C. (2023): Evaluation of rainfall erosivity in the Western Balkans by mapping and clustering ERA5 reanalysis data, Atmosphere, 14(1), Article 3.

150. Mikoš, M. (2012): Slovenia: Lakes and reservoirs, u: Bengtsson, L. (ed.), Encyclopedia of Lakes and Reservoirs, 716–722, Springer.

151. Milanesi, 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.

152. Milanović, M. (2012): Analiza bujičnih slivova gornjeg toka rijeke Neretve primjenom SCS-CN metode, Vodoprivreda, 44(258–260), 45–56.

153. Milošević, D., Dujmović, J. (2015): Hydrogeological characteristics of karst springs in Prokletije, Collection of Papers – Faculty of Geography, University of Belgrade.

154. Минчев, И. (2014): Развој на методологија за утврдување заштитни зони околу водна акумулација од аспект на ерозијата и транспортот на нанос, Докторска дисертација, Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, Скопје.

155. Mîndrescu, M., Cristea, I.A., Hutchinson, S.M. (2010): Bathymetric and sedimentological changes of glacial Lake Ştiol, Rodna Massif, Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences, 5(1), 57–65.

156. Ministarstvo poljoprivrede i ruralnog razvoja (2017): Strategija upravljanja vodama Crne Gore, Podgorica.

157. Ministarstvo prostornog planiranja, urbanizma i državne imovine (2014): Detaljni urbanistički plan „Plavsko jezero“ – Opština Plav, Nacrt plana.

158. Ministarstvo održivog razvoja i turizma (2018): Nacrt prostornog plana posebne namjene za Nacionalni park „Prokletije“. Vlada Crne Gore.

159. Mishra, S.K., Singh, V.P. (2003): CS-CN method, Part II: Analytical treatment, Acta Geophysica Polonica, 51(1), 107–123.

160. Mohiuddin, K.M., Zakir, H.M., Otomo, K., Sharmin, S., Shikazono, N. (2010): Distribution of trace metal pollutants in water and sediments of downstream of the Tsurumi River, Japan, Environmental Monitoring and Assessment, 162, 395–412.

161. Molnar, F.M., Rothe, P., Förstner, U., Štern, J., Ogorelec, B., Šercelj, A., Culiberg, M. (1978): Lakes Bled and Bohinj: Origin, composition, and pollution of recent sediments, Geologija, 21, 93–164.

162. MONSTAT (2024): Popis stanovništva, domaćinstava i stanova u Crnoj Gori 2023 – konačni rezultati, Podgorica.

163. Morgan, R.C.P. (2005): Soil erosion and conservation, 3rd ed., National Soil Resources Institute, Cranfield University.

164. Morgan, R.P.C. (2010): Soil erosion and conservation, 3rd ed., National Soil Resources Institute, Cranfield University.

165. Morgan, R.P.C., Nearing, M.A. (2011): Handbook of Erosion Modelling, Wiley-Blackwell.

166. Mulabdić, M. (2018): Soil testing in the geomechanical laboratory, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Osijek.

167. Müller, G. (1969): Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River, GeoJournal, 2, 108–118.

168. NASA (1996): Land-Cover and Land-Use Change (LCLUC) Science Program, Washington, D.C.

169. Nemerow, N. L. (1985): *Stream, lake, estuary, and ocean pollution* (2nd ed.). New York: John Wiley & Sons.

170. Nikčević, H., Vuković, P., Bulajić, S., Murić, S., Milović, R., Burić, M., Ristić, R., Vidaković, Ž., Vujačić, M., Redžić, D., Nikčević, M., Jaćimović, S., Markišić, O., Franeta, M. (2023): Riječni slivovi Crne Gore – integralna projekcija razvoja, Podgorica.

171. NMH- The Netherlands Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment (2000): Circular on target values and intervention values for soil remediation.

172. Niu, Y., Jiang, X., Wang, K., Xia, J., Jiao, W., Niu, Y. (2015): Spatial evaluation of heavy metals concentrations in the surface sediments of Taihu Lake, China, International Journal of Environmental Research and Public Health, 12, 14966–14981.

173. Nunes, C.F., Alves, L.J., Carvalho, N.C.C., Gross, E., Soares, M.T., Prasad, M.N.V. (2020): Soil as a complex ecological system for meeting food and nutritional security.

174. Оцокољић, М. (1994): Реке Проклетија и могућност коришћења њихових вода, у: Јован Цвијић и Проклетије – научна монографија, 50–55.

175. Opština Plav (2020): Izvještaj o strateškoj procjeni uticaja na životnu sredinu prostorno-urbanističkog plana opštine Plav.

176. Owens, P.N., Batalla, R.J., Collins, A.J. (2005): Fine-grained sediment in river systems: Environmental significance and management issues, River Research and Applications, 21, 693–717.

177. Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K., Alewell, C., Lugato, E., Montanarella, L. (2015): Rainfall erosivity in Europe. European Commission — Science of the Total Environment, Vol. 511, pp. 801–814.

178. Panagos, P., Borrelli, P., Poesen, J., Ballabio, C., Lugato, E., Meusburger, K., Montanarella, L., Alewell, C. (2015): The new assessment of soil loss by water erosion in Europe.

179. Panagos, P., Ballabio, C., Poesen, J., Lugato, E., Scarpa, S., Montanarella, L., Borrelli, P. (2020): A Soil Erosion Indicator for Supporting Agricultural, Environmental and Climate Policies in the European Union.

180. Panditharathne, D.L.D., Abeysingha, N.S., Nirmanee, K.G.S., Mallawatantri, A. (2019): Application of Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) Model to Assess Soil Erosion in "Kalu Ganga" River Basin in Sri Lanka.

181. Pavićević, N. (1956): Erozija zemljišta u slivu Gornjeg Lima, Naša poljoprivreda, 2(2).

182. Pekey, H. (2006): The distribution and sources of heavy metals in Izmit Bay surface sediments affected by a polluted stream, Marine Pollution Bulletin, 52(10), 1197–1208.

183. Pešić, V., Grabowski, M., Hadžiablahović, S. (2019): The biodiversity and biogeographical characteristics of the river basins of Montenegro, u: Pešić, V. (ed.), The rivers of Montenegro, 1–44, Springer Nature Switzerland.

184. Перовић, В. (2015): Процена потенцијалне ерозије земљишта применом USLE и PESERA модела на подручју слива акумулације Првонек, Докторска дисертација, Београд.

185. Petković, S., Đukić, V. (2009): Review of soil erosion and sediment transport models in river basins, Vodoprivreda, 41(4–6), 117–125.

186. Petković, S., Dragović, N., Marković, S. (2012): Erosion and sedimentation problems in Serbia, Faculty of Forestry, University of Belgrade.

187. Petković, S., Petković, Sl., Gregorić, E., Spalević, B. (1995): Sediment problems of the Velika Morava River related to water use for irrigation, Beograd.

188. Petras, J., Kušpilic, N., Kunstek, D. (2005): Some experience on the prediction of suspended sediment concentrations and fluxes in Croatia, u: Proceedings of Symposium S1 held during the Seventh IAHS Scientific Assembly at Foz do Iguaçu, Brazil, IAHS Publication No. 292, 179–1

189. Petrović, A., Dragović, N. (2010): Karst springs in Montenegro – distribution, typology and hydrological characteristics, Geographica Pannonica, 14(3), 91–96.

190. 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, Magistarski rad, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
191. Pimentel, D., Harvey, C., Resosudarmo, P., Sinclair, K., Kruz, D., McNair, M., Crist, S., Shpritz, L., Fitton, L., Saffouri, R., Blair, R. (1995): Environmental and Economic Costs of Soil Erosion and Conservation Benefits.
192. Pivić, R., Šebić, S.A., Dinić, Ć.Z., Maksimović, J., Pešić, M., Jošić, D. (2017): Water from the Timok river in Serbia: estimation of its suitability for arable soil irrigation, Proceedings of the International Symposium on Analytical and Environmental Problems, 23, 283.
193. Poesen, J., Nachtergaele, J., Verstraeten, G., Valentin, C. (2003): Gully erosion and environmental change: importance and research needs, Catena, 50(2–4), 91–133.
194. Poh, S.C., Tahir, N.M. (2016): The common pitfall of using enrichment factor in assessing soil heavy metal pollution, Malaysian Journal of Analytical Sciences, 21(1), 52–59.
195. 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, 11(9), 4154.
196. Polovina, S., Radić, B., Ristić, R., Milčanović, V. (2024): Application of remote sensing for identifying soil erosion processes on a regional scale: An innovative approach to enhance the erosion potential model, Remote Sensing, 16(13), 2390.
197. Поповић, М., Костадинов, С. (1987): Карактеристике гранулометријског састава наноса у зависности од геолошке подлоге у сливу, Шумарство, 3–4, 15–23.
198. Pravilnik o načinu i rokovima utvrđivanja statusa površinskih voda ("Službeni list Crne Gore", br. 25/2019). Podgorica: Službeni list Crne Gore.
199. Радоњић, Ј. (2018): Хидролошки и псамолошки ефекти противерозионих радова на бујичним подсливовима Јужне Мораве, Докторска дисертација, Универзитет у Београду, Шумарски факултет.
200. Rafaelli, S., Peviani, M., Perez Ayala, F. (1998): Study of sediment yield on the mountain Cuenca del Rio Iruya (Argentina), IARH AMH, Hydraulic XVIII Latin American Conference, Oaxaca, Mexico.
201. Rajović, G. (2010): Prirodni uslovi za razvoj i razmeštaj turizma u sjeveroistočnoj Crnoj Gori, Industrija, 38(4), 183–202.
202. Radojičić, B. (2005): Vode Crne Gore, Nikšić.
203. 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(1), 30–33.

204. RHSW (2007): Regulation on hazardous and harmful substances in waters, Službene novine FBiH, 43/2007.
205. Ride, D.R. (2005): Abundance of Elements in the Earth's Crust and in the Sea, u: CRC Handbook of Chemistry and Physics.
206. Rickli, C., Graf, F., Rhyner, J. (2012): Soil bioengineering measures for slope stabilisation and erosion control in mountainous areas, Forest Snow and Landscape Research, 86(1), 65–78.
207. Ristić, R., Radić, B., Vasiljević, N. (2011): Characteristics of Maximum Discharges on Torrential Watersheds in Serbia, Journal of Environmental Protection and Ecology, 12(2), 471.
208. Ristić, R., Radić, B., Vasiljević, N., Nikić, Z. (2011): Land use change for flood protection – a prospective study for the restoration of the river Jelašnica watershed, Bulletin of the Faculty of Forestry, 103, 115–130.
209. Ristić, R., Ljujić, M., Despotović, J. (2013): Reservoir sedimentation and hydrological effects of land use changes – case study of the experimental Dičina river watershed, Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences, 8(1), 91–98.
210. Ristić, R., Kostadinov, S., Radić, B., Trivan, G., Nikić, Z. (2012): Torrential floods in Serbia – man made and natural hazards, u: 12th Congress Interpraevent Proceedings, 771–779.
211. Ristić, R., Kostadinov, S., Abolmasov, B., Dragićević, S., Trivan, G., Radić, B., Trifunović, M. (2012): Torrential floods and town and country planning in Serbia, Natural Hazards and Earth System Sciences, 12, 23–35.
212. Sakan, S., Dević, G., Relić, D., Anđelović, I., Sakan, N., Đorđević, D. (2014): Risk assessment of trace element contamination in river sediments in Serbia using pollution indices and statistical methods: a pilot study, Environmental Earth Sciences, 73(10), 3886.
213. Sakan, S., Đorđević, D., Manojlović, D., Predrag, P. (2009): Assessment of heavy metal pollutants accumulation in the Tisza River sediments, Journal of Environmental Management, 90, 3382–3390.
214. Salahalddin, S.S., Al-Umary, F.A., Salar, S.G., Al-Ansari, N., Knutsson, S. (2016): GIS based soil erosion estimation using EPM method: Garmiyan Area, Kurdistan Region, Iraq, Journal of Civil Engineering and Architecture, 10(3), 291–308.
215. Salomons, W., Förstner, U. (1984): Metals in the Hydrocycle, Springer, Berlin.
216. Salt, D. E., Smith, R. D., Raskin, I. (1998): Phytoremediation. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 49, 643–668.
217. Schiefer, E., Gilbert, R. (2007): Reconstructing morphometry and history of a glacial lake using bathymetric and geophysical surveys, Geomorphology, 85(1–2), 1–19.

218. Sestras, P., Spalevic, V., Bandi, V., Sestras, A. F., Bako, L., Cimpeanu, S. M. (2023): Application of the IntErO model based on the Gavrilović method in assessing soil erosion intensity and sediment yield in mountainous catchments of the Romanian Carpathians. Applied Sciences, 13(16), 9481. https://doi.org/10.3390/app13169481.

219. Schiefer, E., Gilbert, R., Hassan, M. (2011): A lake sediment-based approach for determining cumulative sediment yield in the mountainous interior of British Columbia, Geomorphology, 129, 105–119.

220. SEPA (2017): Годишњи извјештај о стању квалитета површинских вода у Републици Србији, Београд.

221. Shou, C., Yue, F.J., Zhou, B., Fu, J., Ma, Z.N., Gong, Y.Q., Chen, S.N. (2024): Chronic increasing nitrogen and endogenous phosphorus release from sediment threaten to the water quality in a semi-humid region reservoir, Science of the Total Environment, 931, 172924.

222. Silverman, B.W. (1986): Density estimation for statistics and data analysis, Chapman and Hall, New York.

223. Simonneau, A., Chapron, E., Vannière, B., Wirth, S.B., Gilli, A., Di Giovanni, C., Anselmetti, F.S., Desmet, M., Magny, M. (2013): Mass-movement and flood-induced deposits in Lake Ledro, southern Alps, Italy: Implications for Holocene palaeohydrology and natural hazards, Climate of the Past, 9, 825–840.

224. Smith, K.A., Mullins, C.E. (2018): Soil and Environmental Analysis, 2nd ed.

225. Sodnik, J., Mikoš, M., Bezak, N. (2023): Torrential hazards' mitigation measures in a typical alpine catchment in Slovenia, Applied Sciences, 13(20), 11136.

226. Spalević, V. (2011): Impact of land use on runoff and soil erosion in Polimlje, Doctoral thesis, University of Belgrade.

227. Spalević, V., Povilaitis, A., Čurović, M. (2007): Condition of soil erosion in the Komarača river basin, u: Erosion and torrent control as a factor in sustainable river basin management, Beograd.

228. Spalević, V., Curović, M., Tanaskovik, V., Pivić, V. (2013): Estimation of soil erosion intensity and runoff in the river basin of Bijeli Potok, northeast of Montenegro.

229. Spalević, V., Djurović, N., Mijović, S., Vukelić, S.M., Čurović, M. (2013): Soil Erosion Intensity and Runoff on the Djuricka River Basin (North of Montenegro), Malaysian Journal of Soil Science, 17, 49–68.

230. Spalević, V., Čurović, M., Tanaskovik, V., Oljača, M., Djurović, N. (2013): The impact of land use on soil erosion and run-off in the Krivaja river basin in Montenegro, u: The First International Symposium on Agricultural Engineering, Belgrade–Zemun, 1–14.

231. Spalević, V., Mahoney, W., Djurović, N., Üzen, N., Čurović, M. (2015): Assessment of sediment yield using the Erosion Potential Method (EPM) in the Karličica watershed of Montenegro. International Journal of Environmental Research, 9(3), 921–930.

232. Spalević, V., Al-Turki, A.M., Barović, G., Silva, M.L.N., Djurović, N., Souza, W.S., Batista, P.V.G. (2016): Modeling of Soil Erosion by IntErO model: The Case Study of the Novsicki Potok Watershed, of the Prokletije high mountains of Montenegro.

233. Spalević, V., Radanović, D., Škatarić, G., Billi, P., Barović, G., Čurović, M., Sestras, P., Khaledi Darvishan, A. (2017): Ecological-economic (eco-eco) modelling in the mountainous river basins: impact of land cover changes on soil erosion.

234. Spalević, V., Lakićević, M., Radanović, D., Billi, P., Barović, G., Vujačić, D., Sestras, P., Khaledi Darvishan, A. (2017): Ecological-Economic modelling in the river basins of mountainous regions: impact of land cover changes on sediment yield in the Velička Rijeka in Montenegro, Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 45(2), 602–610.

235. SRLVS (2012): Serbian regulation of limit values pollutant substances into surface water, groundwater and sediments and the deadlines for their attaining, Official Gazette of RS, 50/12.

236. SS-AE (2005): Sektorske studije – analize i ekspertize za potrebe prostornog plana Republike Crne Gore, 4.1 Prirodne karakteristike, Podgorica.

237. Stanković, S. (1967): Plavsko jezero, Glasnik Srpskog geografskog društva, 47(1).

238. Stanković, S.M. (1968): Plavsko Jezero, prilog fizičko-limnološkom proučavanju, Glasnik srpskog geografskog društva, 42(1).

239. Stanković, S.M. (1975): Planinska jezera Crne Gore, Titograd, Društvo za nauku i umjetnost Crne Gore.

240. Станковић, С. (1994): Јован Цвијић и језера Проклетија, у: Јован Цвијић и Проклетије – научна монографија, 38–45.

241. Станковић, С.М. (1985): Проклетије (регионални парк), Гласник Српског географског друштва, 65(2), 88–101.

242. Стефановић, Т. (2016): Ефекти противерозионих радова у сливу реке Јабланице узводно од будуће водне акумулације „Ровни“, Докторска дисертација, Шумарски факултет, Универзитет у Београду.

243. Stefanidis, P., Myronidis, D., Sapountzis, M., Stathis, D. (1998): The torrent “Sklitrho” in Florina: Torrential environment and torrent control system, Scientific Annals, Department of Forestry and Natural Environment, Aristotelian University of Thessaloniki, 41(2), 1275.

244. Stefanović, M., Gavrilović, Z., Bajčetić, R. (2014): Lokalna zajednica i problematika bujičnih poplava.

245. Steiner, D. (1970): Automation in photo interpretation, Geoforum, 1, 75–88.
246. Stešević, D., Caković, D. (2013): Katalog vaskularne flore Crne Gore. Podgorica: Crnogorska akademija nauka i umjetnosti.
247. Stoilkova, T., Zhelev, D., Metodieva, K., Machev, P. (2019): Heavy metals contents in Dragovishtitsa River bottom sediments, Kyustendil region, Bulgaria, Review of the Bulgarian Geological Society, 80(3), 171–174.
248. Strateški plan razvoja Opštine Plav za period 2013–2017. Skupština Opštine Plav. Službeni list Crne Gore – Opštinski propisi, broj 13/2013.
249. Strategija upravljanja vodama Crne Gore (2017): Vlada Crne Gore, Ministarstvo poljoprivrede i ruralnog razvoja, Podgorica.
250. Svetlitchnyi, A.A. (2009): Long-term forecast of changes in soil erosion losses during spring snowmelt, Odesa I.I. Mechnikov National University.
251. Svetlitchnyi, A.A. (2009): Soil Erosion Induced Degradation of Agrolandscapes in Ukraine: Modeling, Computation and Prediction in Conditions of Climate Changes.
252. Summa, V., Boccia, P., Lettino, A., Margiotta, S., Palma, A., Ragone, P.P., Sinisi, R., Zanelatto, M., Sturchio, E. (2019): Mobility of trace metals in serpentinite-derived soils of the Pollino Massif (Southern Italy): insights on bioavailability and toxicity, Environmental Geochemistry and Health.
253. Ščepita, O. (2011): Building erosion control measures in land consolidation projects, Slovak Journal of Civil Engineering.
254. Šifrer, A. (1952): Pleistocenska glacijacija u Julijskim Alpima i razvoj Bohinjskog glečera, Geografski zbornik, Ljubljana.
255. Šmuc, A., Skaberne, D., Muri, G., Vreča, P., Jaćimović, R., Čermelj, B., Turšič, J. (2013): Influence of geomorphic setting on sedimentation of two adjacent alpine lakes, Triglav Lakes Valley (Julian Alps, NW Slovenia), Acta Geographica Slovenica.
256. Štrbac, S., Šajnović, A., Budakov, Lj., Vasić, N., Kašanin-Grubin, M., Simonović, P., Jovančićević, B. (2013): Metals in the sediment and liver of four fish species from different trophic levels in Tisza River, Serbia, Chemistry and Ecology, 30(2), 169.
257. Tanasijević, Đ., Antonović, G., Aleksić, Đ., Pavićević, N., Filipović, Đ., Spasojević, M. (1966): Pedološki pokrivač zapadne i severozapadne Srbije, Beograd.
258. Taylor, S.R. (1964): Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table, Geochimica et Cosmochimica Acta, 28(8), 1273–1285.

259. Tomlinson, D.L., Wilson, J.G., Harris, C.R., Jeffrey, D.W. (1980): Problems in the assessment of heavy-metal levels in estuaries and the formation of a pollution index, Helgoländer Meeresuntersuchungen, 33, 566–575.
260. Tošić, R., Dragićević, 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), Geographical Reviews, 46, 69–78.
261. Uduma, A.U., Awagu, E.F. (2013): Manganese as a Reference Element for the assessment of zinc enrichment and depletion in selected farming soils in Nigeria, Research Journal of Environmental and Earth Sciences, 5(9), 497–504.
262. United Nations Environment Programme (2004): Land degradation in drylands (LADA): GEF project document. Nairobi: UNEP.
263. United Nations Convention to Combat Desertification (2015): Land degradation neutrality: Resilience at local, national and regional levels. Bonn: UNCCD.
264. Uprava za vode (2019): Plan davanja koncesija za eksploataciju riječnog nanosa (šljunka i pijeska) iz korita rijeka Lim i Grnčar, Podgorica.
265. Ure, A.M., Berrow, M.L. (1982): The elemental constituents of soils, u: Environmental Chemistry, 2, 94–204.
266. Uredba o graničnim vrednostima zagađujućih materija u površinskim i podzemnim vodama i sedimentu i rokovima za njihovo dostizanje ("Službeni glasnik RS", br. 50/2012). Beograd: Službeni glasnik RS.
267. Uredba o opasnim i štetnim materijama u vodama ("Službeni glasnik BiH", br. 76/07). Sarajevo: Službeni glasnik BiH.
268. USDA (2017): Soil Survey Manual, Soil Science Division Staff, Handbook 18.
269. UNESCO (1974): International Glossary of Hydrology, UNESCO/WMO, Paris.
270. Vančetović, Ž. (1951): Uređenje bujica, Udžbenik za srednje šumarske škole, Beograd.
271. Vančetović, Ž. (1954): Uređenje bujica i zaštita zemljišta od erozije u NR Srbiji, Beograd.
272. Vančetović, Ž. (1966): Erozija zemljišta i bujice u SR Srbiji, Beograd.
273. Vančetović, Ž. (1971): Radovi na suzbijanju erozije zemljišta i bujica u SR Srbiji izvedeni od 1955. do 1968. godine i postignuti rezultati, Beograd.
274. Varol, M. (2011): Assessment of heavy metal contamination in sediments of the Tigris River (Turkey) using pollution indices and multivariate statistical techniques, Journal of Hazardous Materials, 195, 355–364.

275. Veličković, D. (2018): Analiza zagađenosti vode rijeke Lim i ocjena bioakumulacije teških metala u mišićnom tkivu skobalja (Chondrostoma nasus) i klijena (Squalius cephalus). Magistarski rad. Prirodno matematički fakultet, Podgorica.

276. Veličković, D., Krivokapić, M. (2021): Analysis of precipitation intensity and temperature for the Plavsko Lake basin in the period 1966–2020, u: Proceedings – Water 2021, Zlatibor, 367–378.

277. Verstraeten, G., Poesen, J. (2000): Estimating trap efficiency of small reservoirs and ponds, Progress in Physical Geography.

278. Vlada Crne Gore (2019): Nacionalni plan zaštite i spašavanja od poplava. Podgorica.

279. Vujačić, D. (2018): Proračun intenziteta erozije zemljišta u Polimlju (Crna Gora i Srbija) i Širindareh slivu (Iran) korišćenjem IntErO modela, Doktorska disertacija, Novi Sad.

280. Vujačić, D., Barović, G., Tanaskovik, V., Kisić, I., Song, X., Silva, M.L.N., Spalević, V. (2015): Calculation of runoff and sediment yield in the Piševska rijeka watershed, Polimlje, Montenegro, Agriculture & Forestry, 61(2), 225–234.

281. Vymazal, J. (2010): Constructed wetlands for wastewater treatment. Water, 2(3), pp. 530–549. Available at: https://doi.org/10.3390/w2030530.

282. Wagner, B., Francke, A., Wilke, T. (2014): The Ohrid and Prespa lake system: Long-term evolution and environmental change, Biogeosciences, 11, 3183–3209.

283. Wang, X., Li, Y., Zhang, H., Chen, L. (2017): Distribution and ecological risk assessment of heavy metals in sediments from the Changjiang River Estuary and the adjacent East China Sea, Marine Pollution Bulletin, 124(2), 774–782.

284. Weil, R.R., Brady, N.C. (2017): The nature and properties of soils, 15th ed., Pearson Education.

285. Wiener, J.G. (1979): Aerial inputs of cadmium, copper, lead, and manganese into a freshwater pond in the vicinity of a coal-fired power plant, Water, Air, and Soil Pollution, 12, 343–353.

286. Wischmeier, W.H., Smith, D.D. (1978): Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning, U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 537.

287. Wilson, J.P., Gallant, J.C. (2000): Digital elevation models and representation of terrain shape, u: Terrain Analysis: Principles and Applications, 29–50.

288. Wolman, M.G., Riggs, H.C. (1990): Surface water hydrology, u: The Geology of North America, Vol. O-1.

289. Wu, Y.-G., Xu, Y.-N., Zhang, J.-H., Hu, S.-H. (2010): Evaluation of ecological risk and primary empirical research on heavy metals in polluted soil over Xiaoqinling gold mining region, Shaanxi, China, Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 20(4), 688–694.

290. Zachar, D. (1970): Erozia pody, Bratislava, Vydavateľstvo Slovenskej akadémie vied.
291. Zemljic, M. (1971): Calculation of sediment load: Evaluation of vegetation as anti-erosive factor, u: Proceedings of the International Symposium Interpraevent, Villach.
292. Zavod za hidrometeorologiju i seizmologiju (2022): Stanje kvaliteta sedimenta i biote – riba na osnovu hemijskog ispitivanja u rijekama Crne Gore. Podgorica: Sektor za hidrologiju i kvalitet voda, Odsjek za kvalitet voda.
293. Zavod za hidrometeorologiju i seizmologiju Crne Gore (1948–2023): Godišnjak meteoroloških i hidroloških podataka. Podgorica.
294. Zhang, C., Qiao, Q., Piper, J.D.A., Huang, B. (2011): Assessment of heavy metal pollution from urbanization and industrialization in river sediments using the potential ecological risk index, Environmental Pollution, 159(10), 3057–3065.
295. Zhang, J., Liu, C.L. (2002): Riverine composition and estuarine geochemistry of particulate metals in China: Weathering features, anthropogenic impact and chemical fluxes, Estuarine, Coastal and Shelf Science, 54, 1051–1070.
296. Zlatanović, N., Gavrić, S. (2013): Comparison of an automated and manual method for calculating storm runoff response in ungauged catchments in Serbia, Journal of Hydrology and Hydromechanics, 61(3), 195–205.
297. 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), u: AG Regional Conference on Geomorphology: Landslides, floods and global environmental change in mountain regions, Brașov, Romania.

11. ПРИЛОЗИ

Прилог 1

Прилог 1а Концентрациони фактор CF (Zn)

Прилог 1б Концентрациони фактор CF (As)

Прилог 1в Концентрациони фактор CF (Hg)

Прилог 1г Концентрациони фактор CF (Cd)

Прилог 1д Концентрациони фактор CF (Cu)

Прилог 1ђ Концентрациони фактор CF (Fe)

Прилог 1е Концентрациони фактор CF (Pb)

Прилог 1ж Концентрациони фактор CF (Ni)

Прилог 2

Прилог 2а Фактор обогаћења EF (Zn)

Прилог 2б Фактор обогаћења EF (As)

Прилог 2в Фактор обогаћења EF (Hg)

Прилог 2г Фактор обогаћења EF (Cd)

Прилог 2д Фактор обогаћења EF (Cu)

Прилог 2ђ Фактор обогаћења EF (Pb)

Прилог 2е Фактор обогаћења EF (Ni)

Прилог 3

Прилог 3а Појединачни индекс еколошког ризика Er (Zn)

Прилог 3б Појединачни индекс еколошког ризика Er (As)

Прилог 3в Појединачни индекс еколошког ризика Er (Hg)

Прилог 3г Појединачни индекс еколошког ризика Er (Cd)

Прилог 3д Појединачни индекс еколошког ризика Er (Cu)

Прилог 3ђ Појединачни индекс еколошког ризика Er (Fe)

Прилог 3е Појединачни индекс еколошког ризика Er (Pb)

Прилог 3ж Појединачни индекс еколошког ризика Er (Ni)

Прилог 3з Зоне загађења према RI индексу

Прилог 4

Прилог 4а Појединачни индекс загађења (PI) Zn

Прилог 4б Појединачни индекс загађења (PI) As

Прилог 4в Појединачни индекс загађења (PI) Cd

Прилог 4г Појединачни индекс загађења (PI) Cu

Прилог 4д Појединачни индекс загађења (PI) Pb

Прилог 4ђ Појединачни индекс загађења (PI) Ni

Прилог 4е Зоне загађења према индексу оптерећења екосистема (PLI)

Прилог 5

Прилог 5а Токсичне јединице тешких метала (TU Zn)

Прилог 5б Токсичне јединице тешких метала (TU As)

Прилог 5вТоксичне јединице тешких метала (TU Hg)

Прилог 5г Токсичне јединице тешких метала (TU Cd)

Прилог 5д Токсичне јединице тешких метала (TU Cu)

Прилог 5ђ Токсичне јединице тешких метала (TU Fe)

Прилог 5е Токсичне јединице тешких метала (TU Pb)

Прилог 5ж Токсичне јединице тешких метала (TU Ni)

Прилог 5з Сума токсичнх јединица (ΣTU)

Прилог 5и Педолошке карактеристике Радончића и Сулејман Сејтовог потока

Прилог 5ј Кукића поток

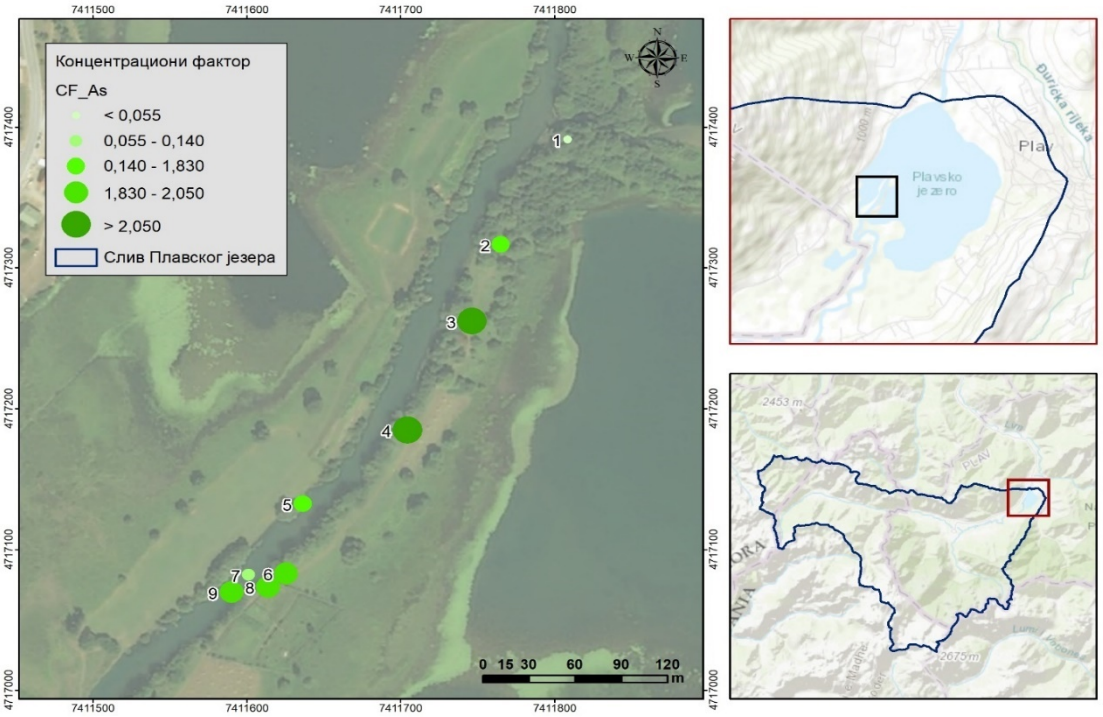
Прилог 5к Бистричица притока Доље

Прилог 5л Долина Гребаје

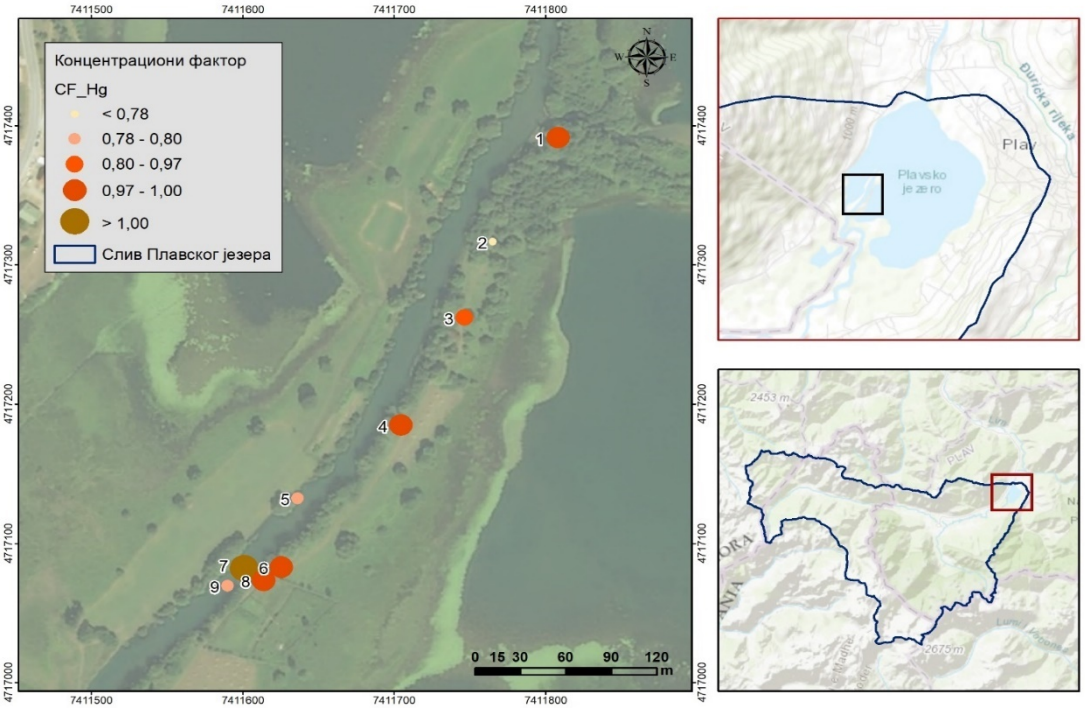
Прилог 5 љ Ријека Луча, теренски обилазак десна обала

Прилог 5 м Ријека Доља

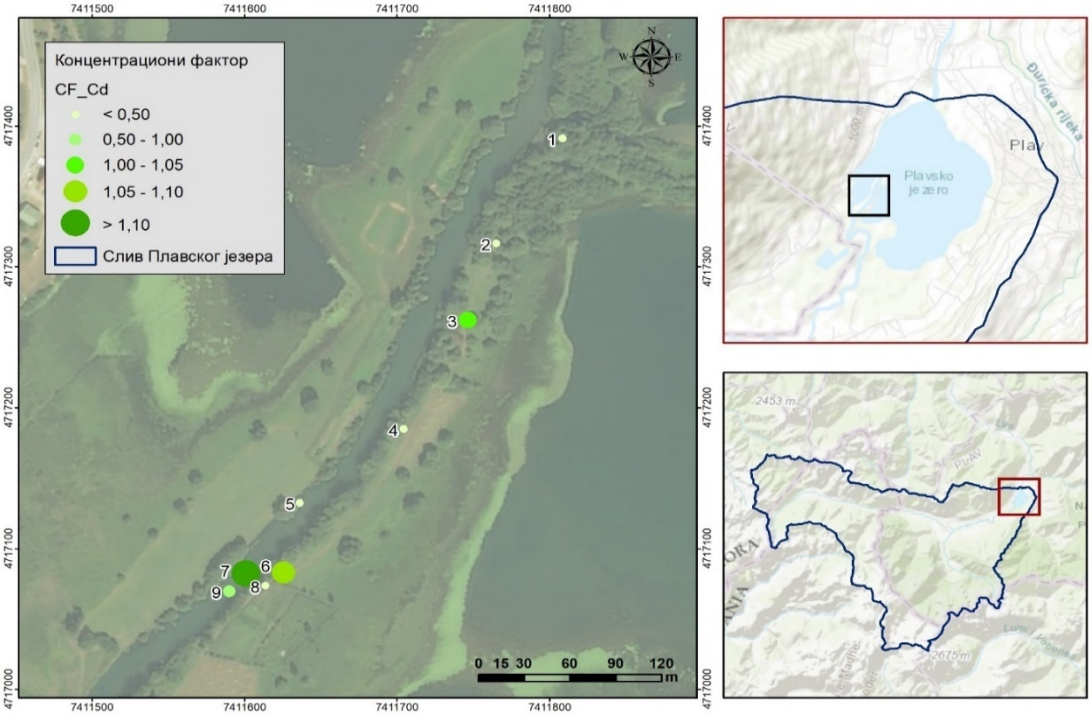
Прилог 1а


Концентрациони фактор
CF_As
< 0,055
0,055 - 0,140
0,140 - 1,830
1,830 - 2,050
> 2,050
Слив Плавског језера
0 15 30 60 90 120
m
Plavsko jezero
Đurička rijeka

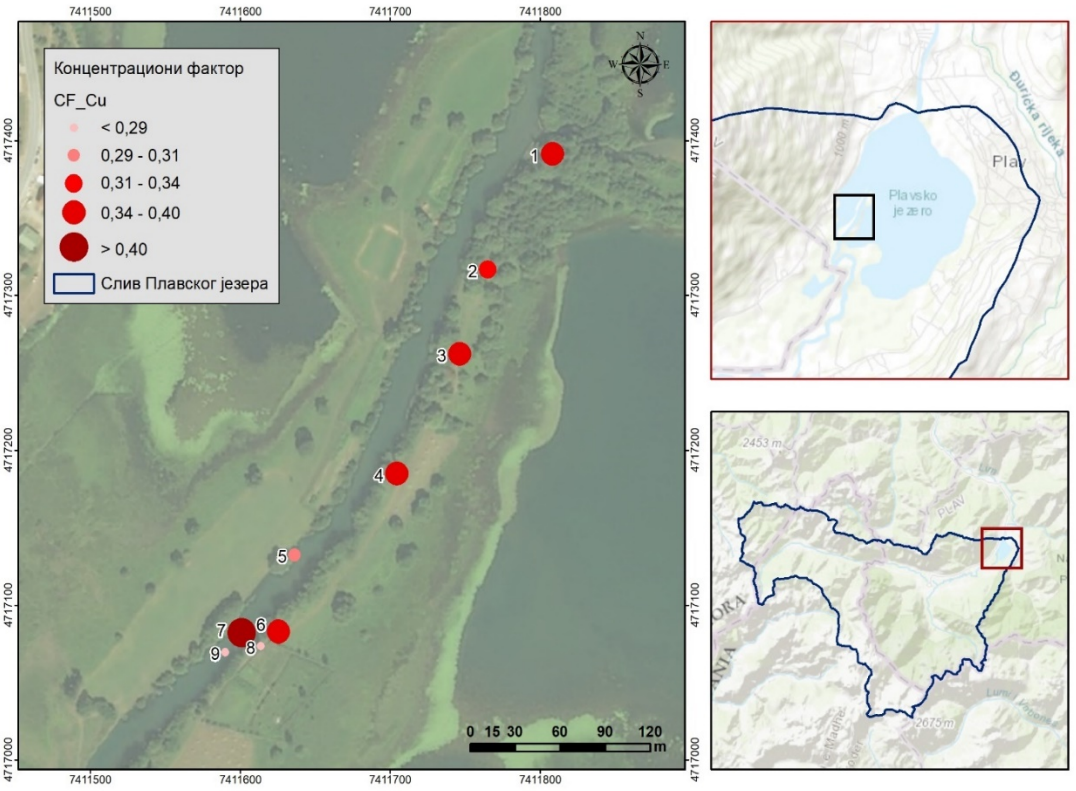
Прилог 1б


Концентрациони фактор
CF_Hg
< 0,78
0,78 - 0,80
0,80 - 0,97
0,97 - 1,00
> 1,00
Слив Плавског језера
0 15 30 60 90 120
m
Plavsko jezero
Đurička rijeka

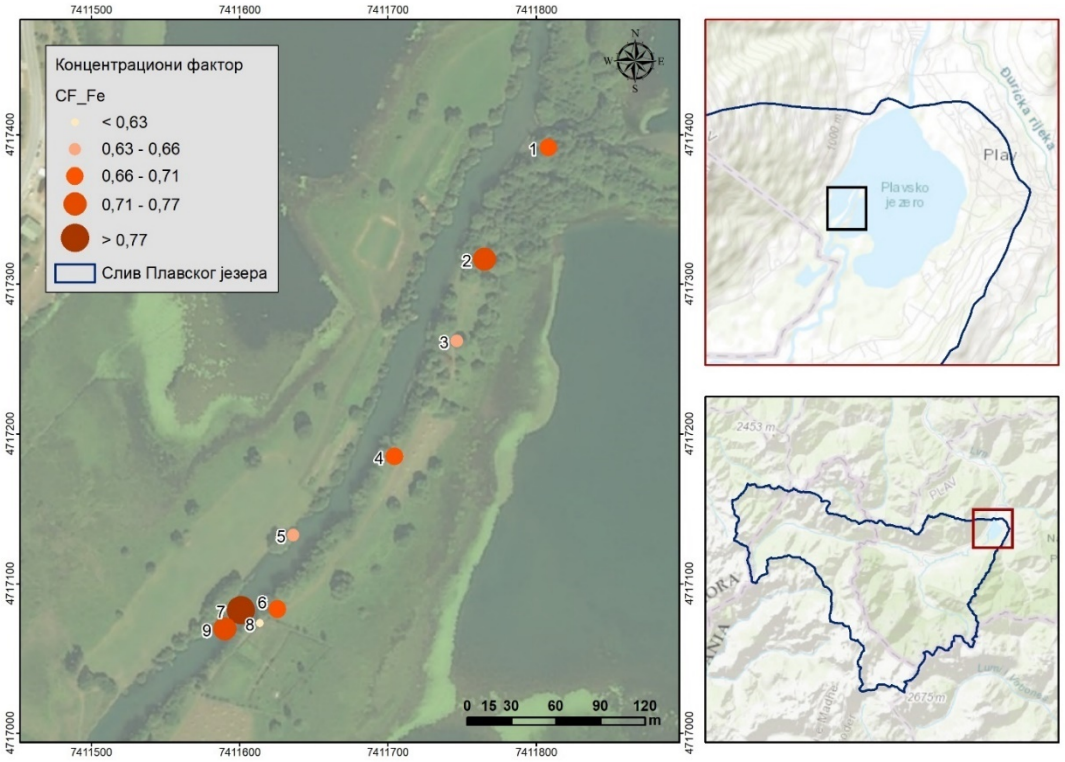
Прилог 1в



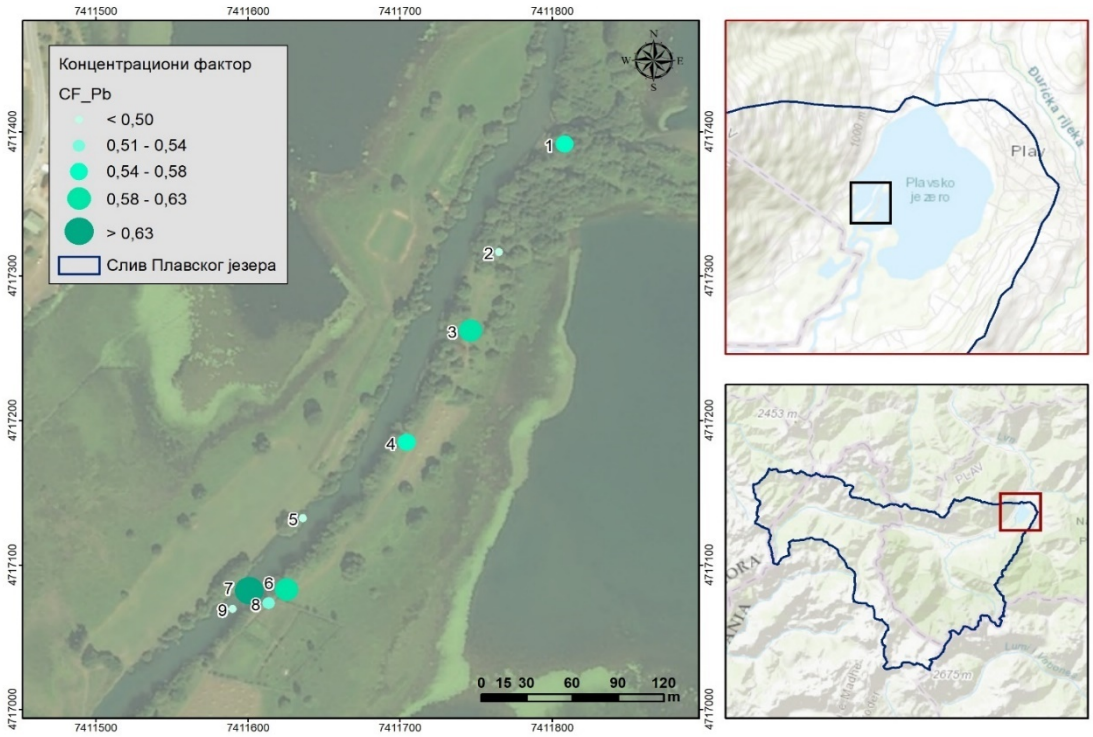
Прилог 1 г



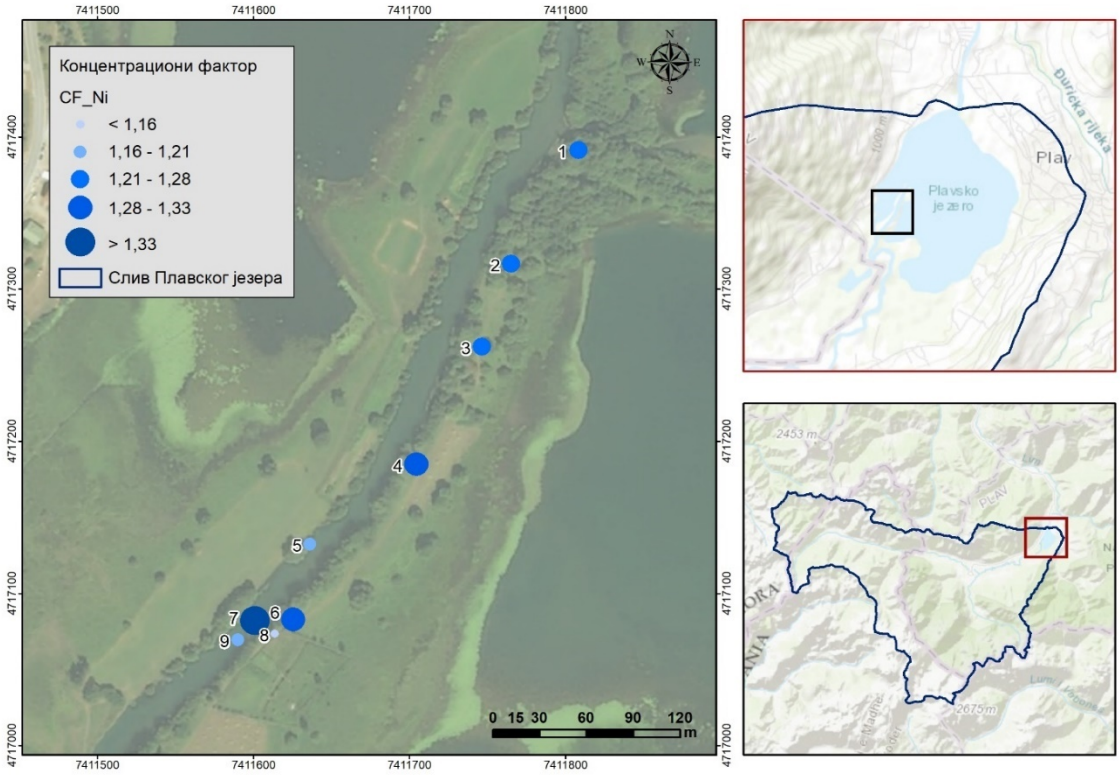
Прилог 1 д



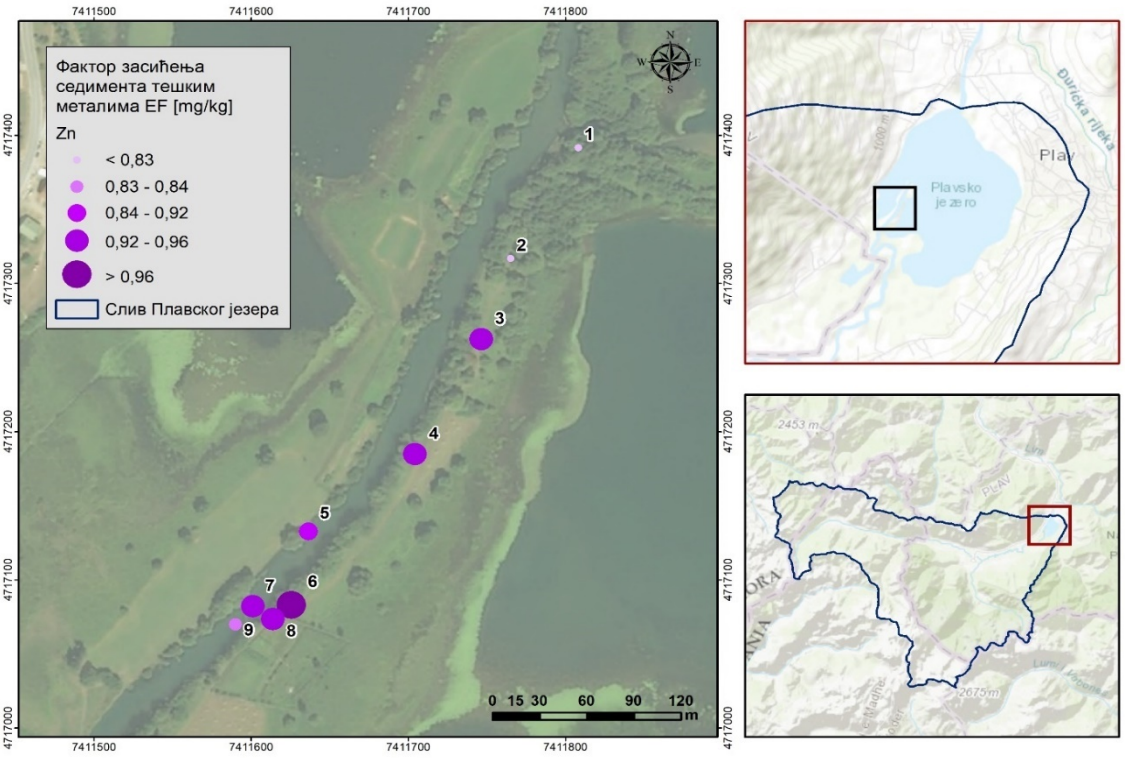
Прилог 1 ђ



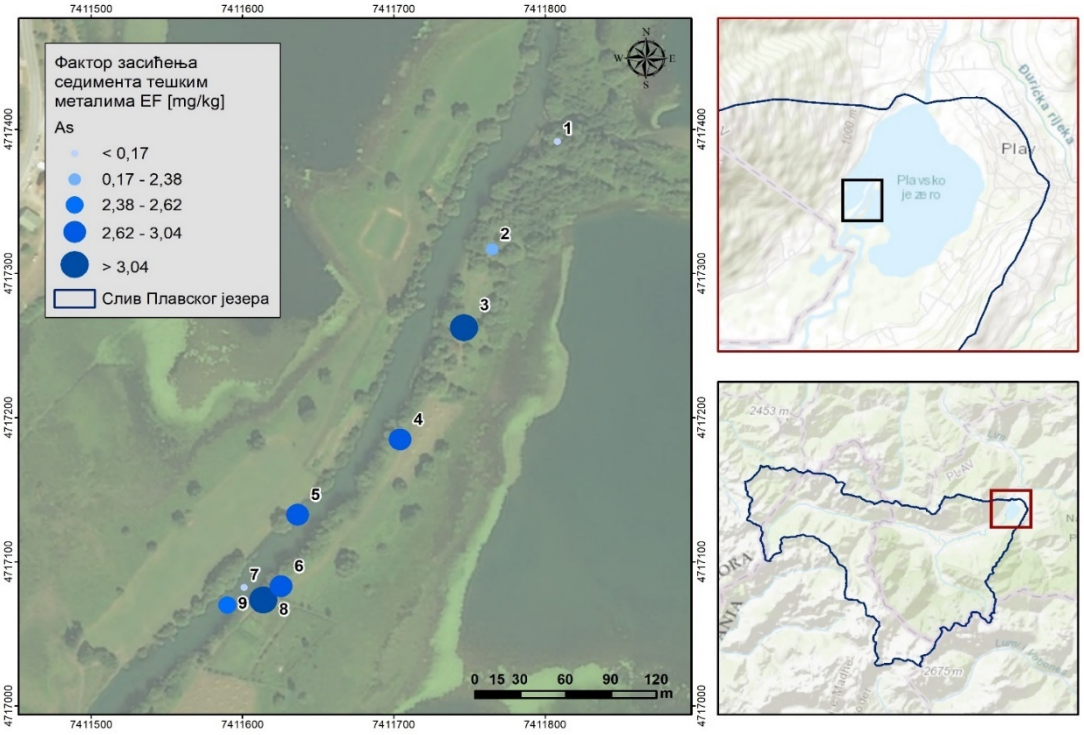
Прилог 1е



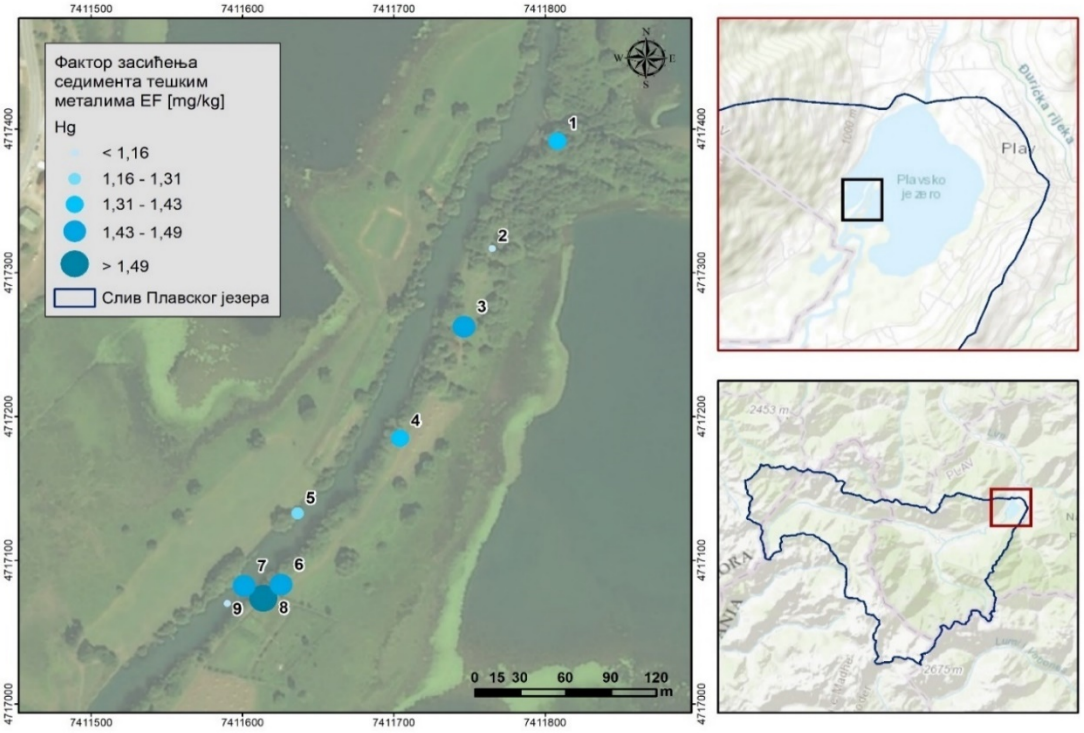
Прилог 2а



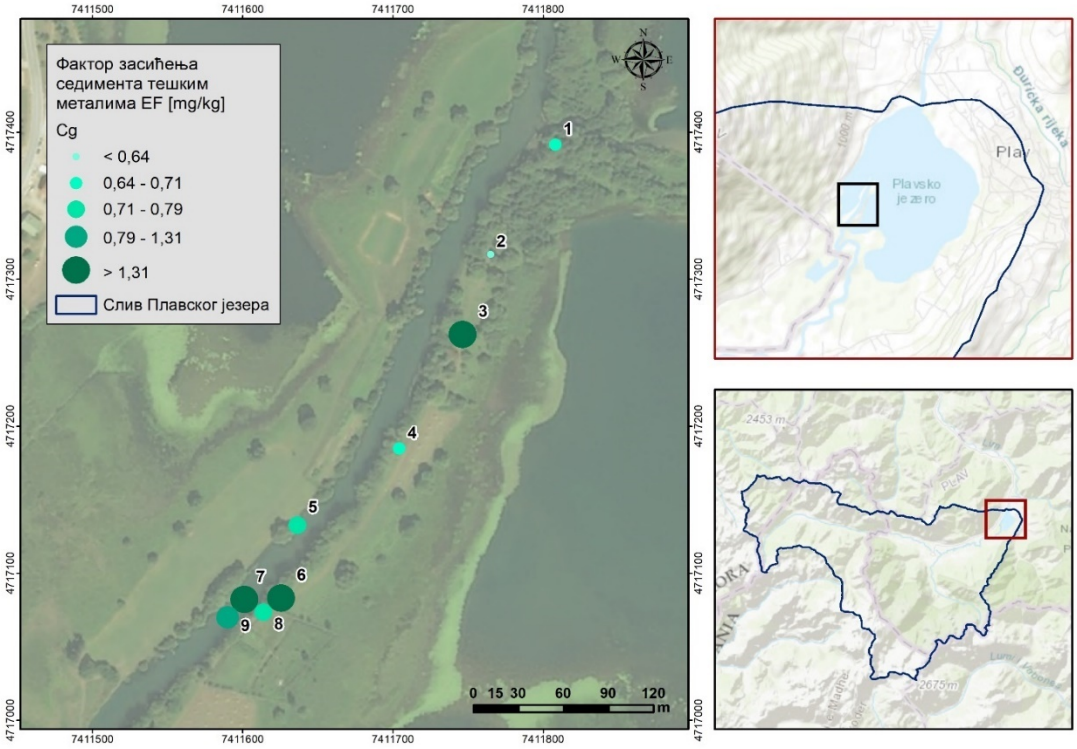
Прилог 2б



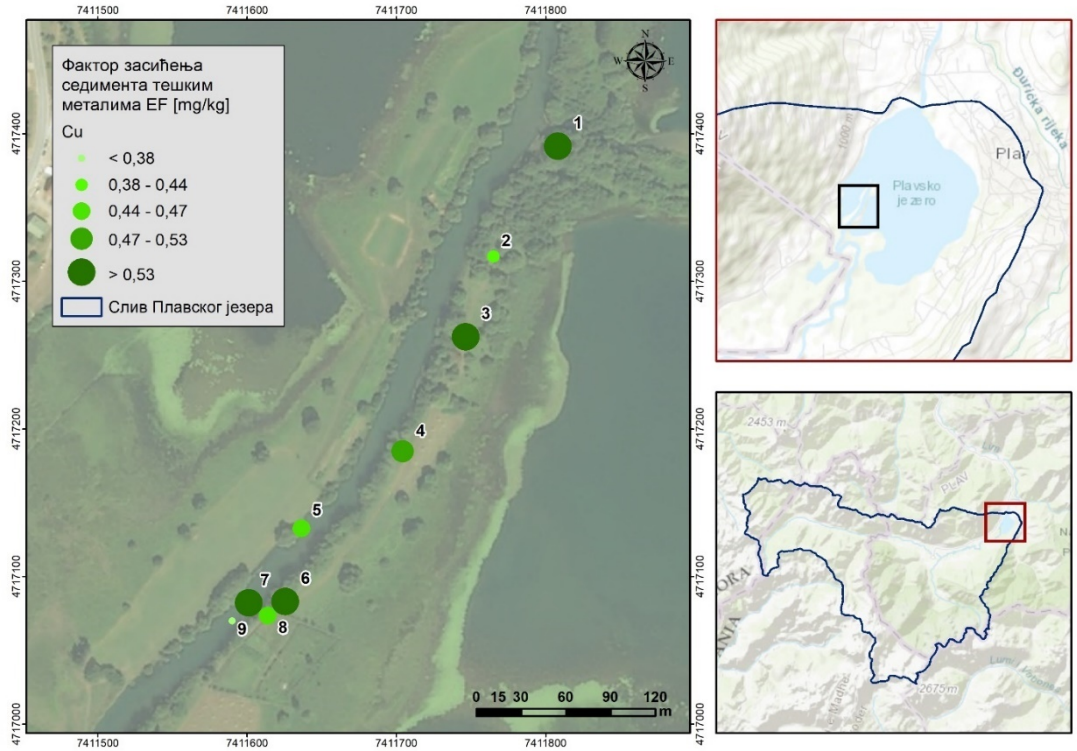
Прилог 2в



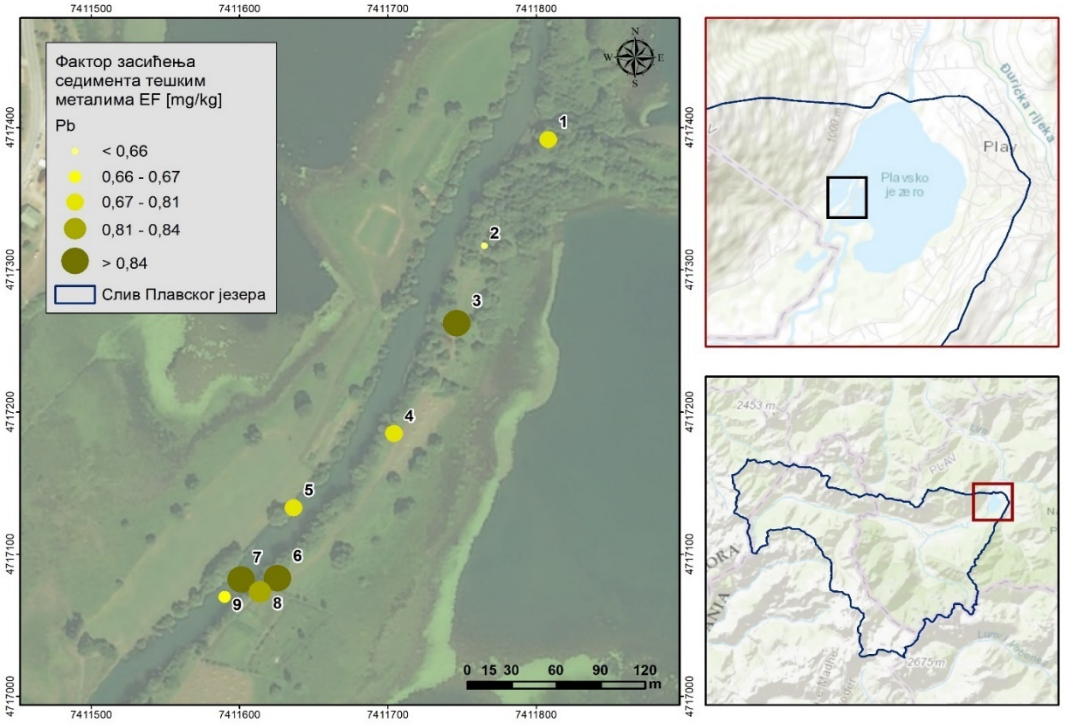
Прилог 2г



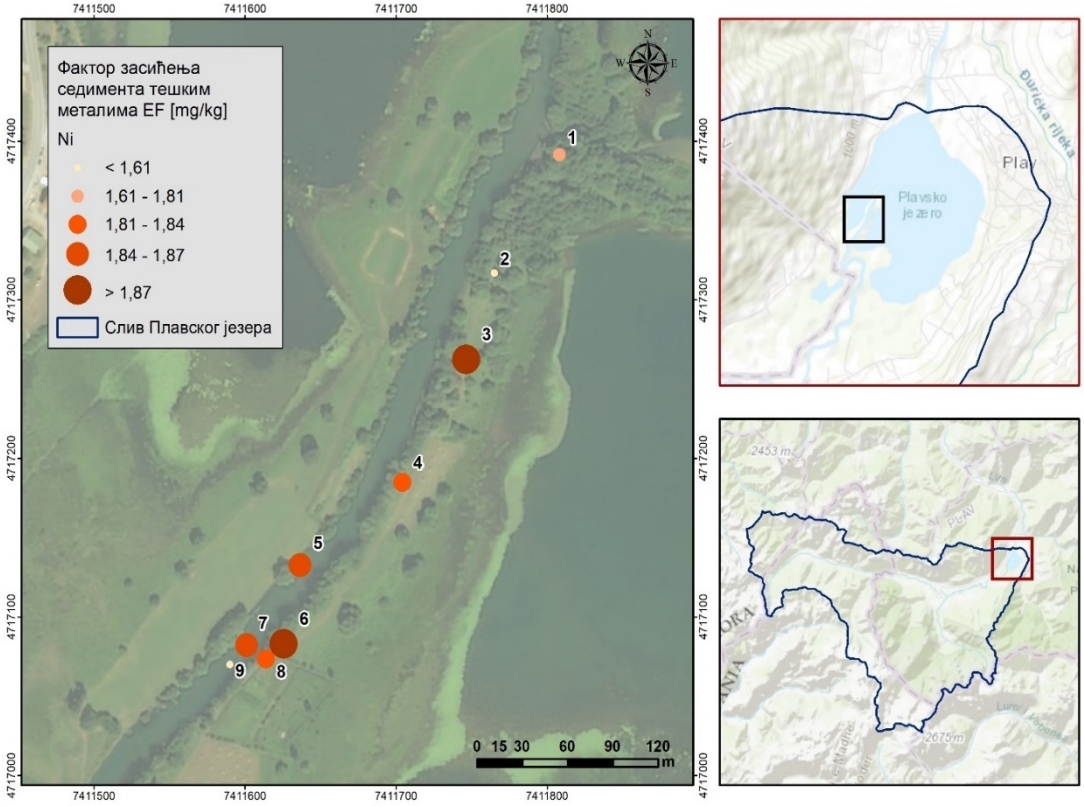
Прилог 2д



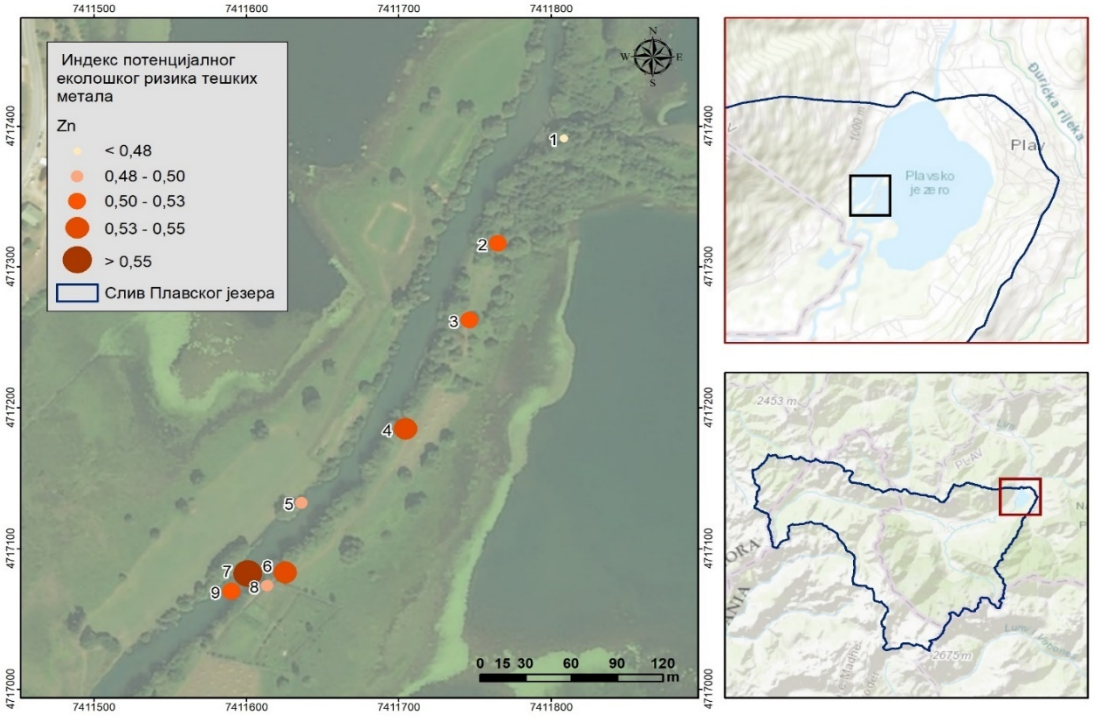
Прилог 2ђ



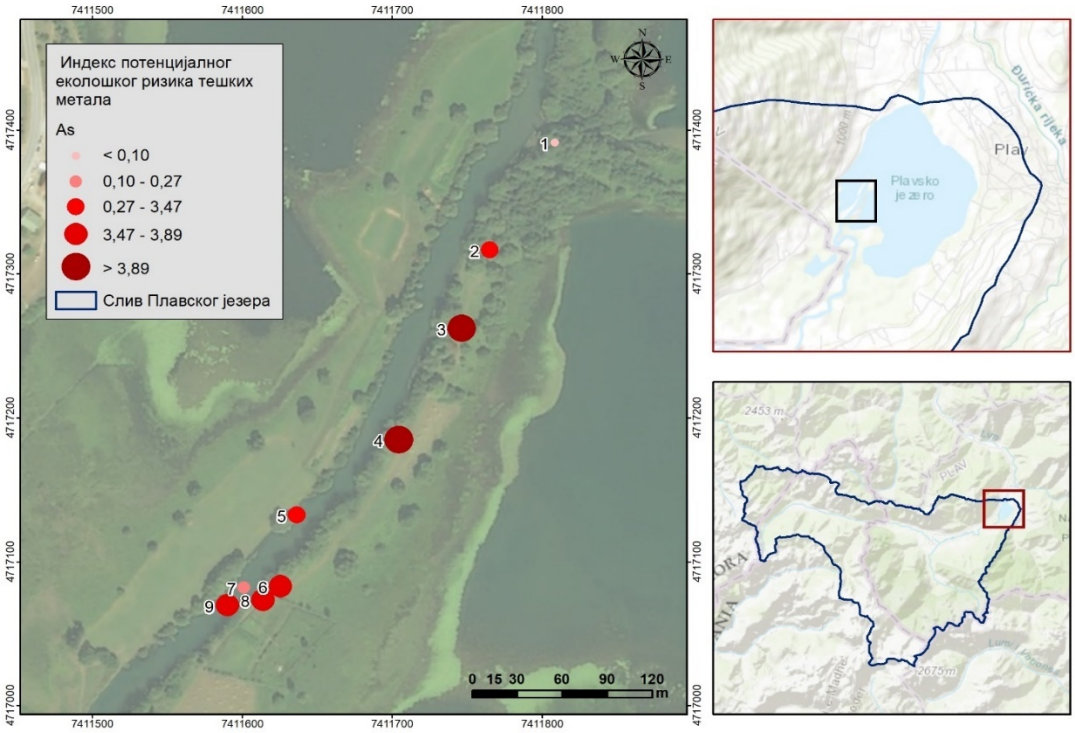
Прилог 2е



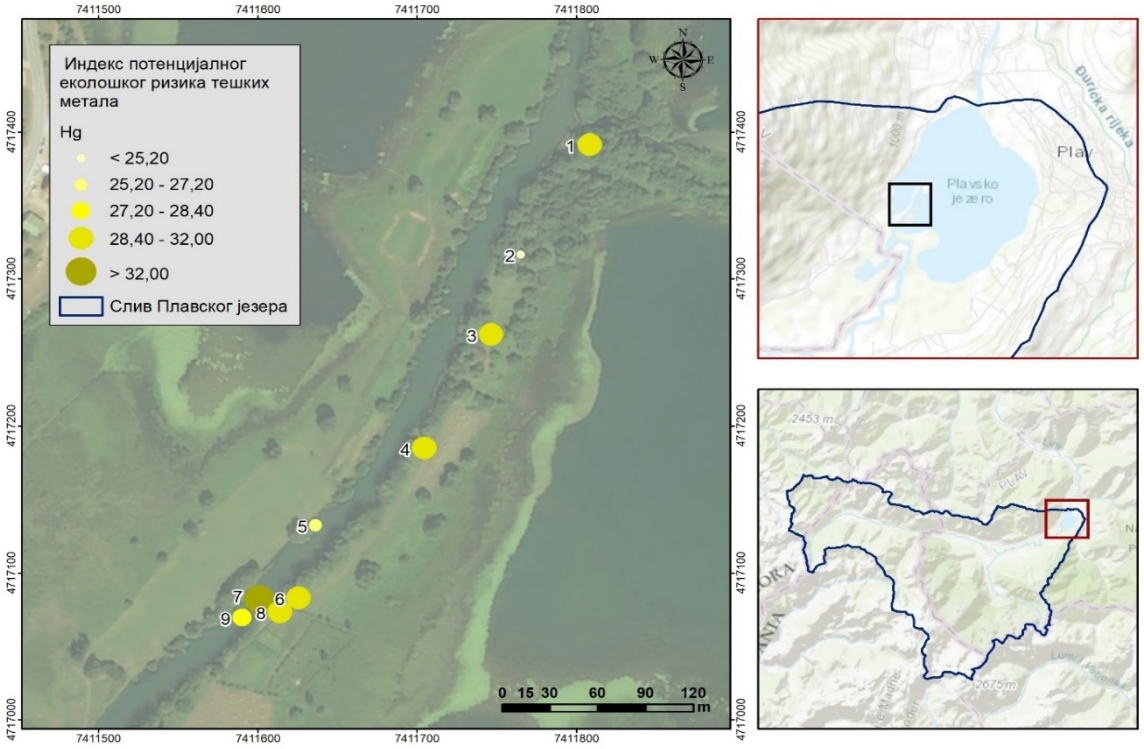
Прилог 3а



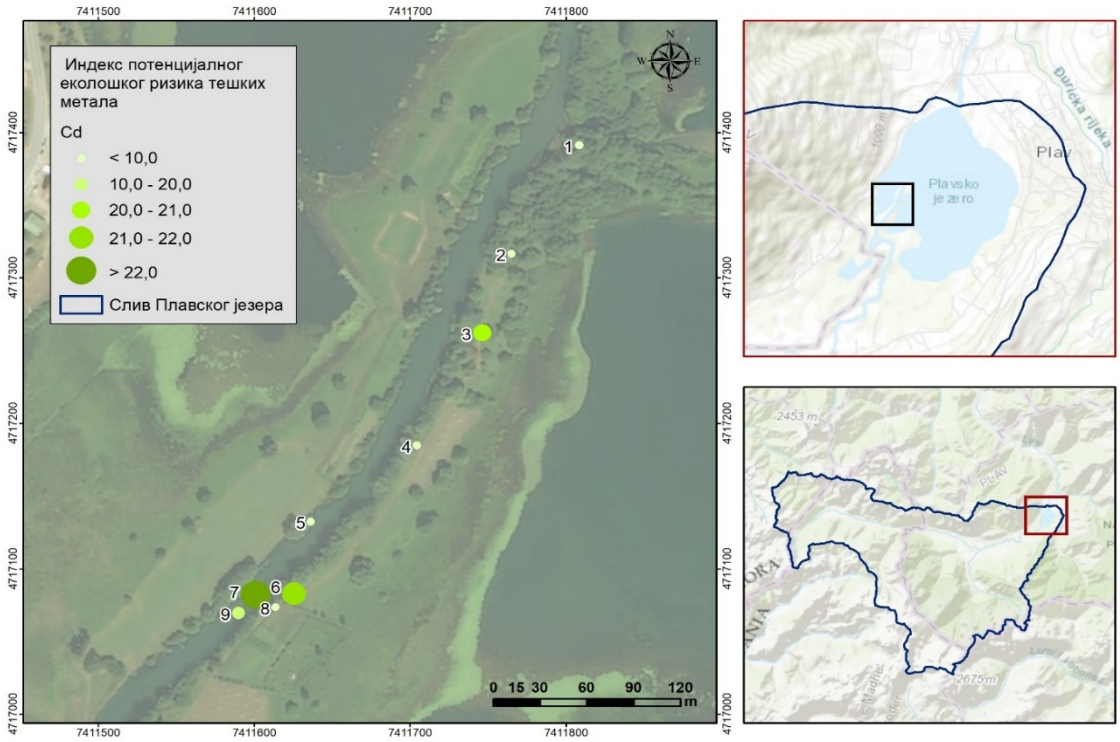
Прилог 3б



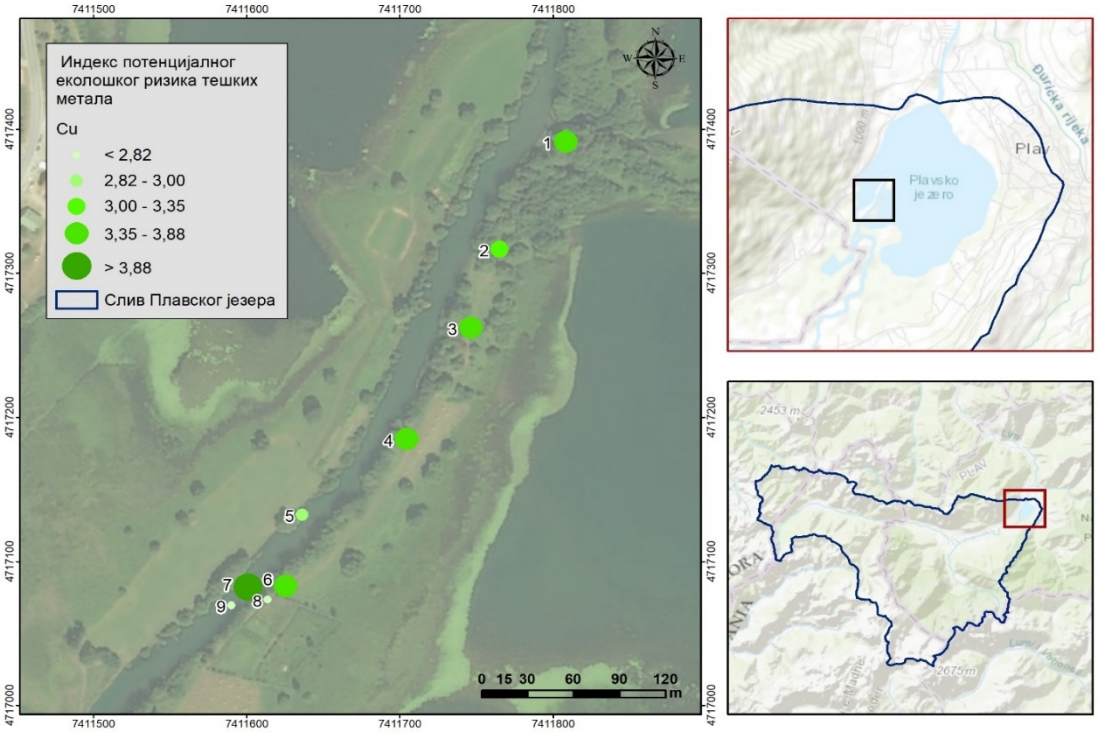
Прилог 3в



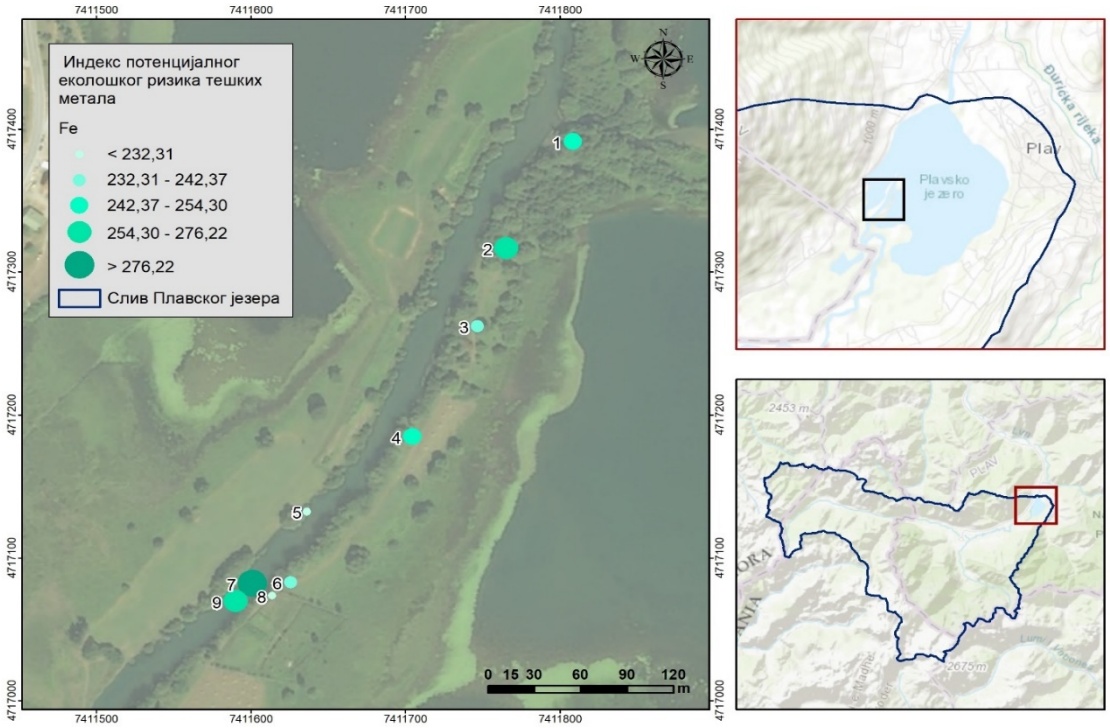
Прилог 3г



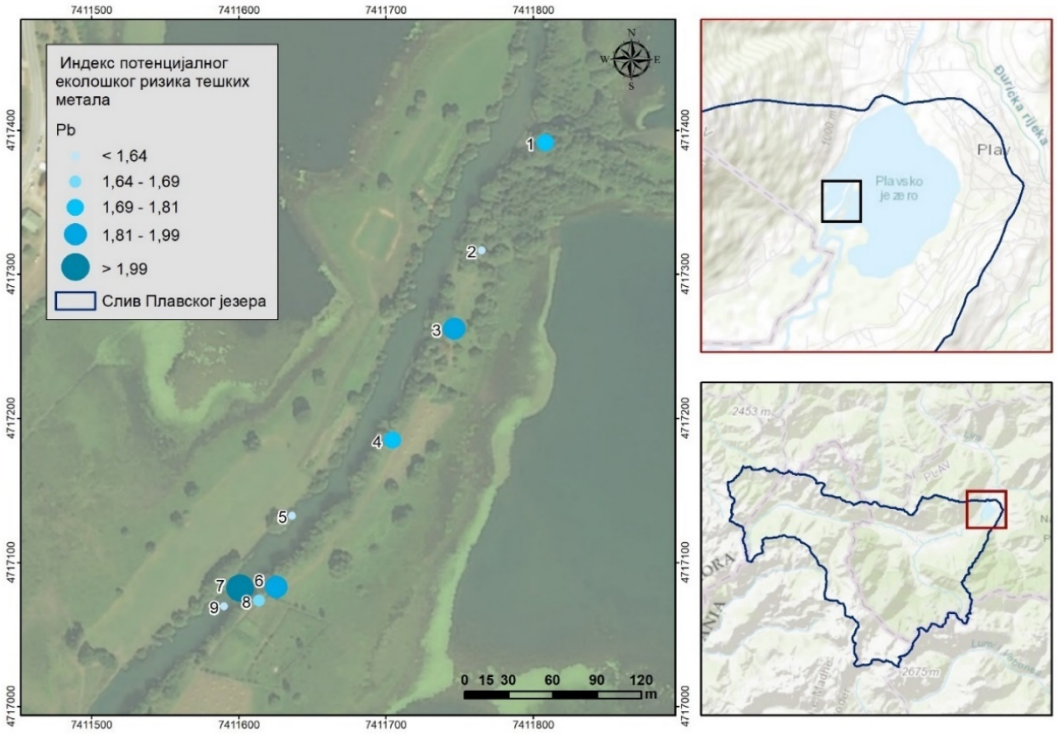
Прилог 3д



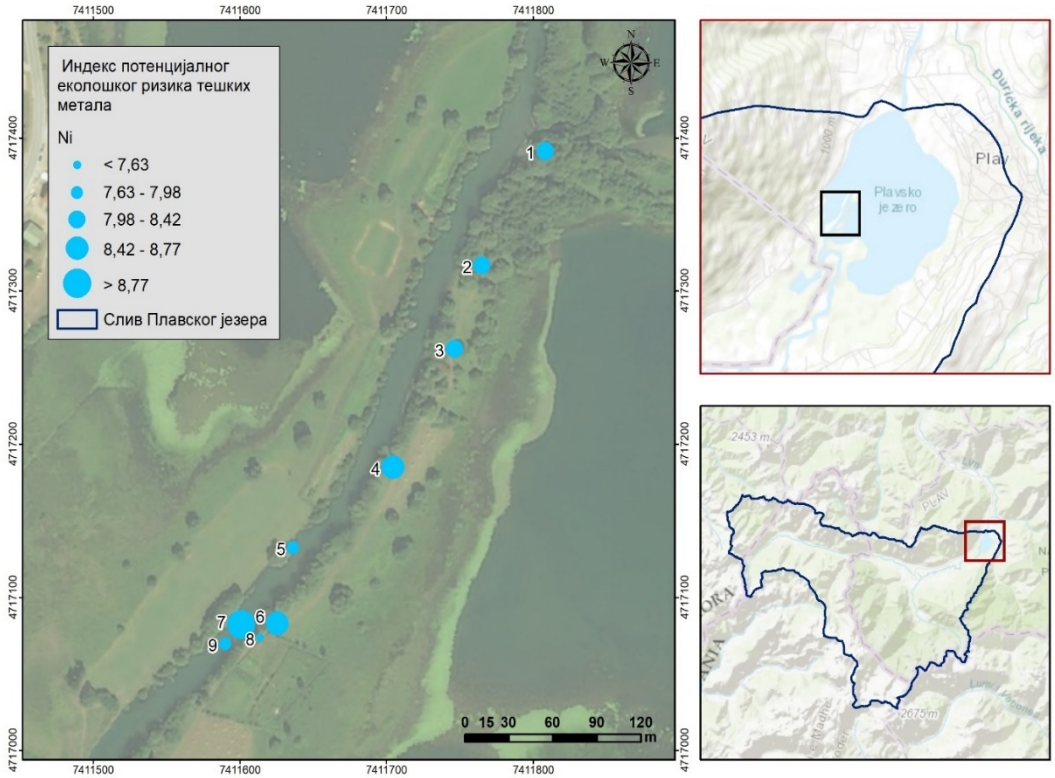
Прилог 3ђ



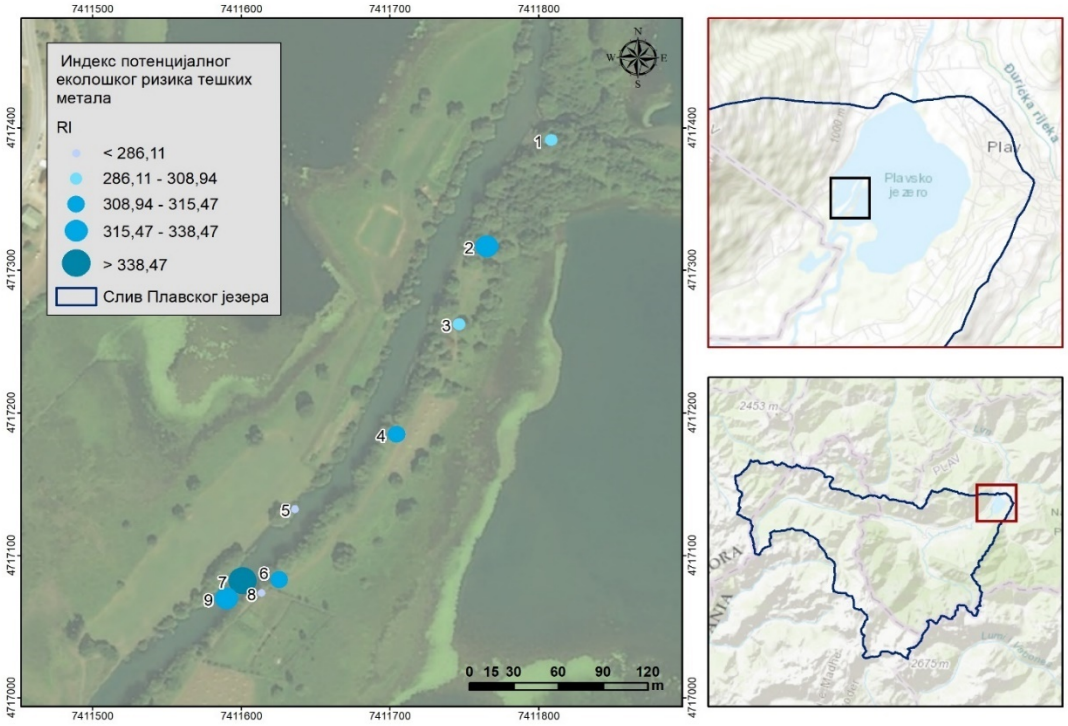
Прилог 3е



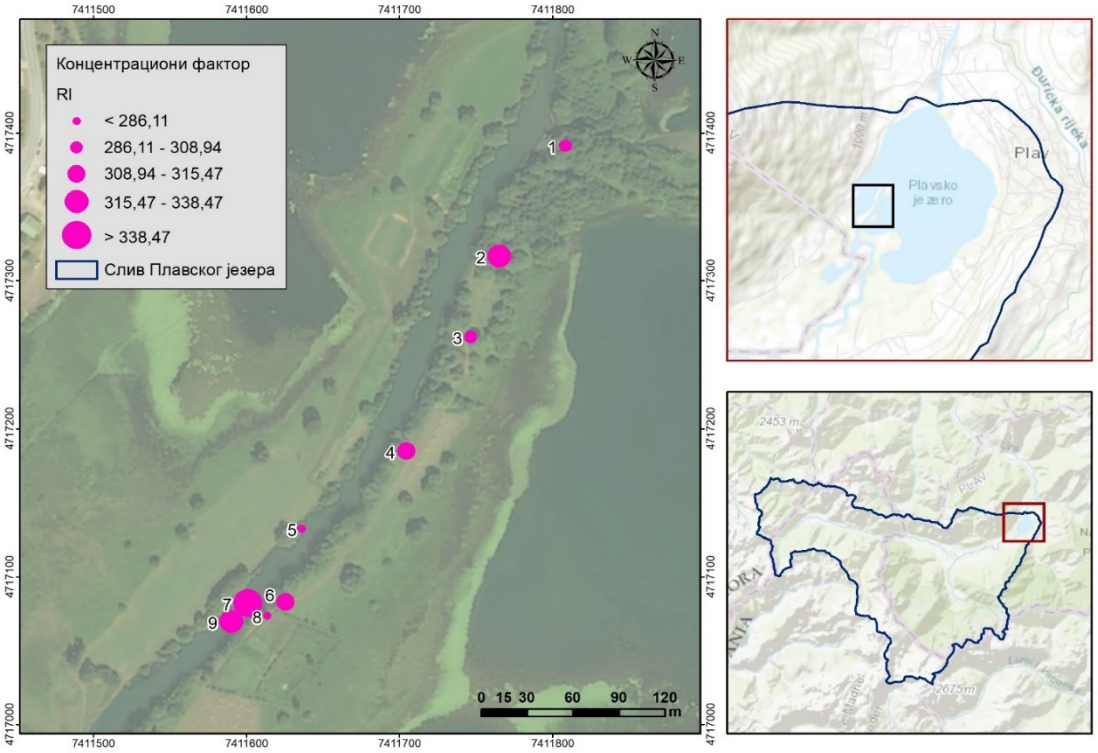
Прилог 3ж



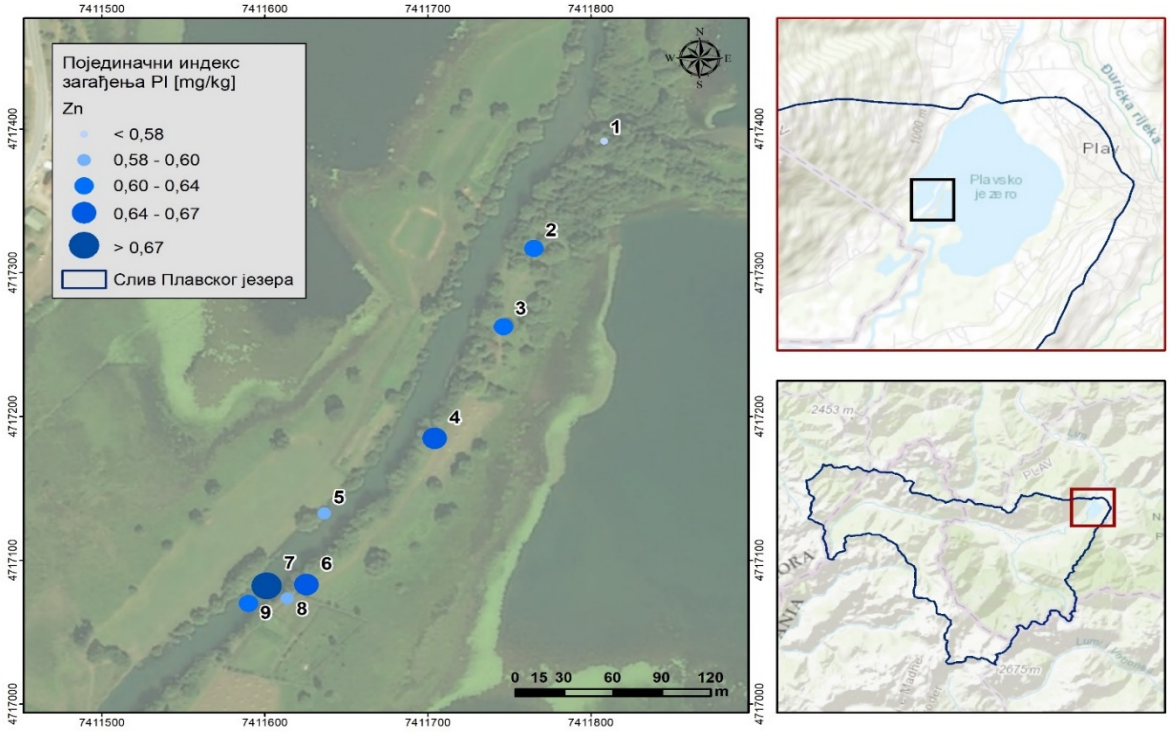
Прилог 3з



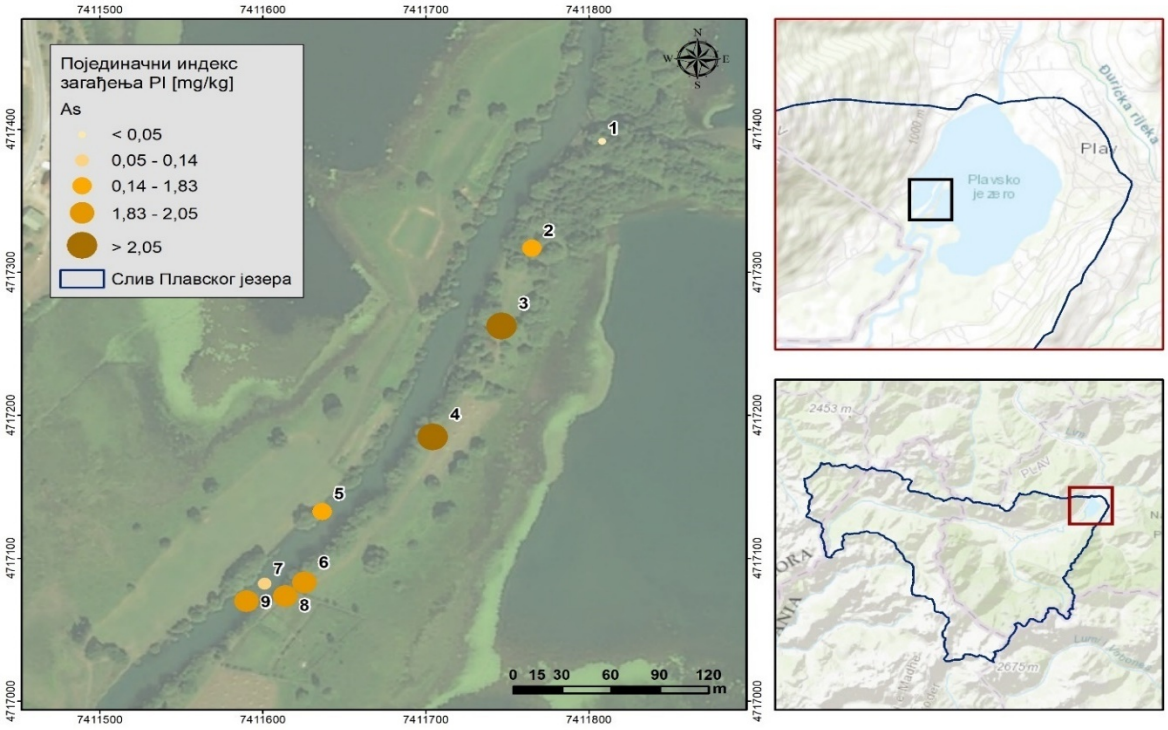
Прилог 3и



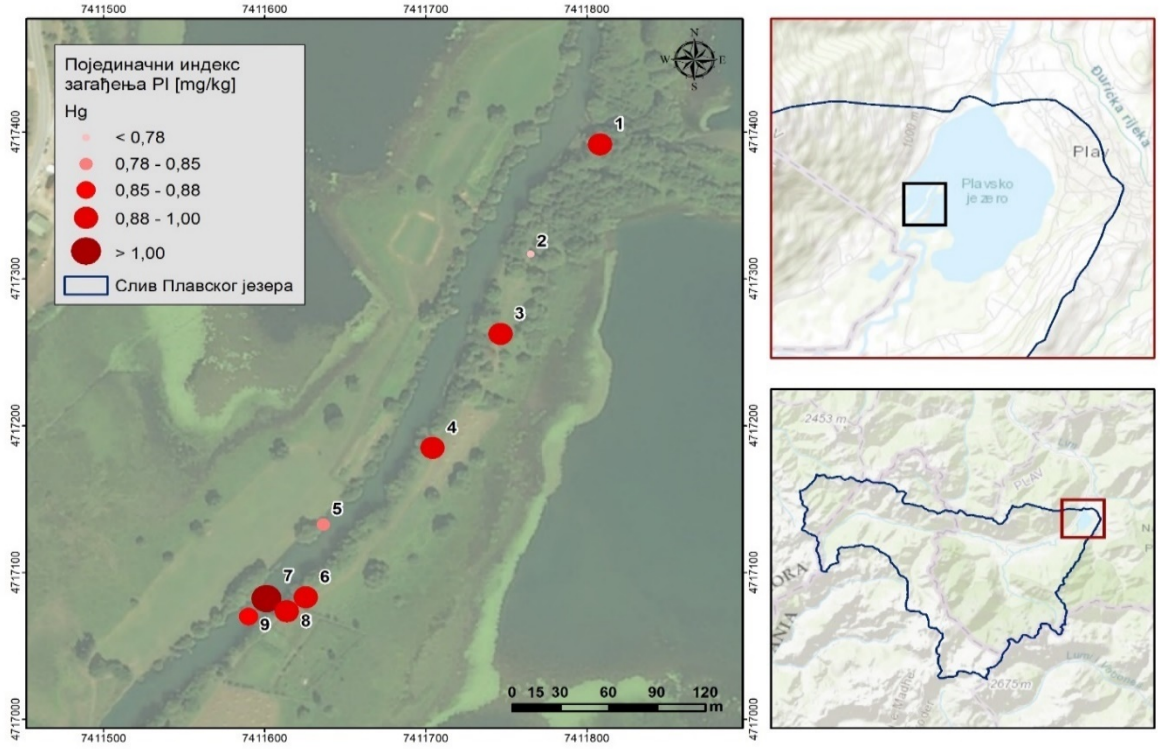
Прилог 4а



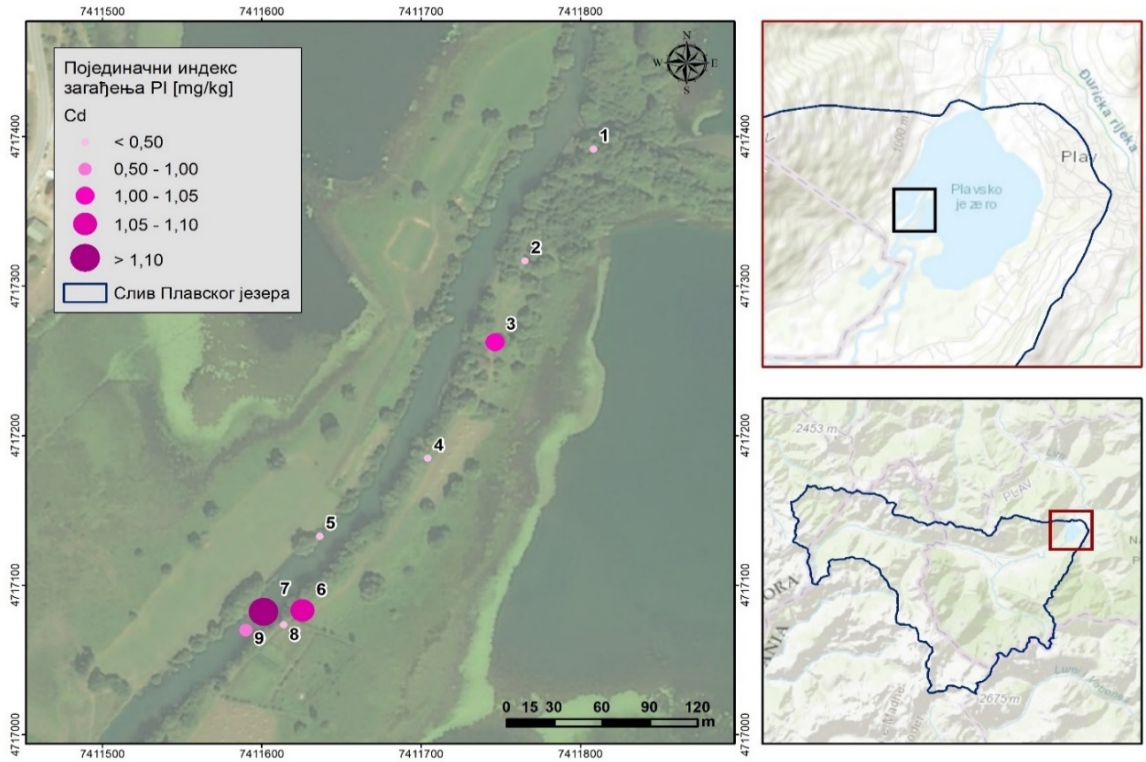
Прилог 4б



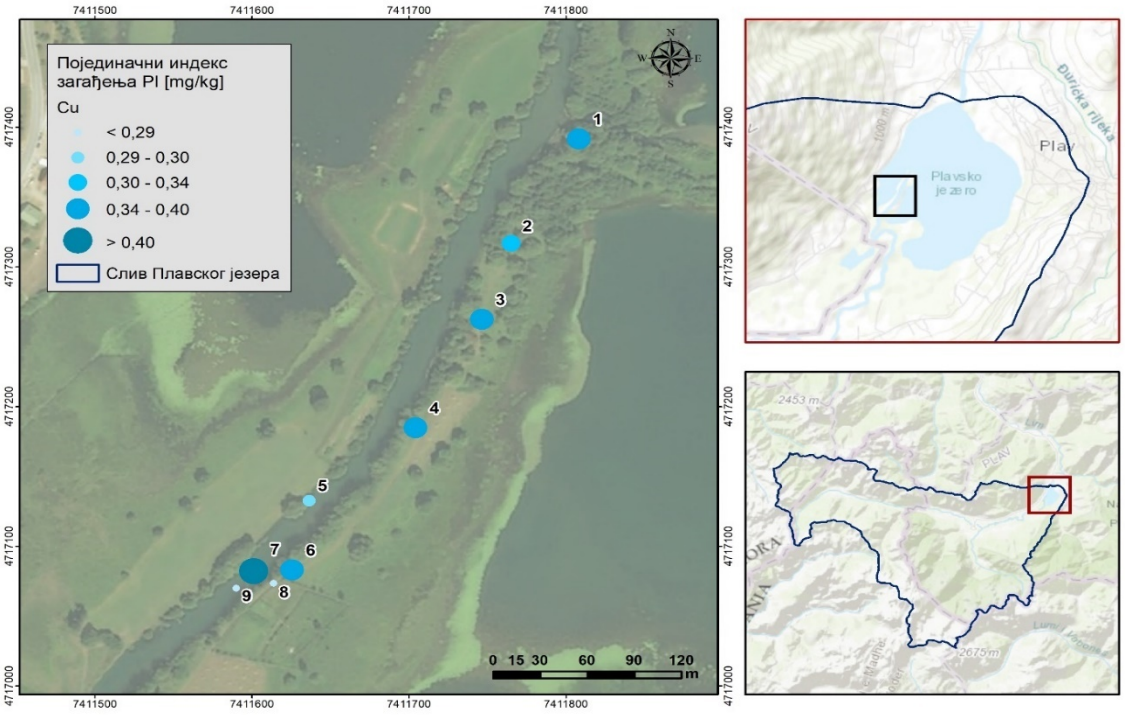
Прилог 4в



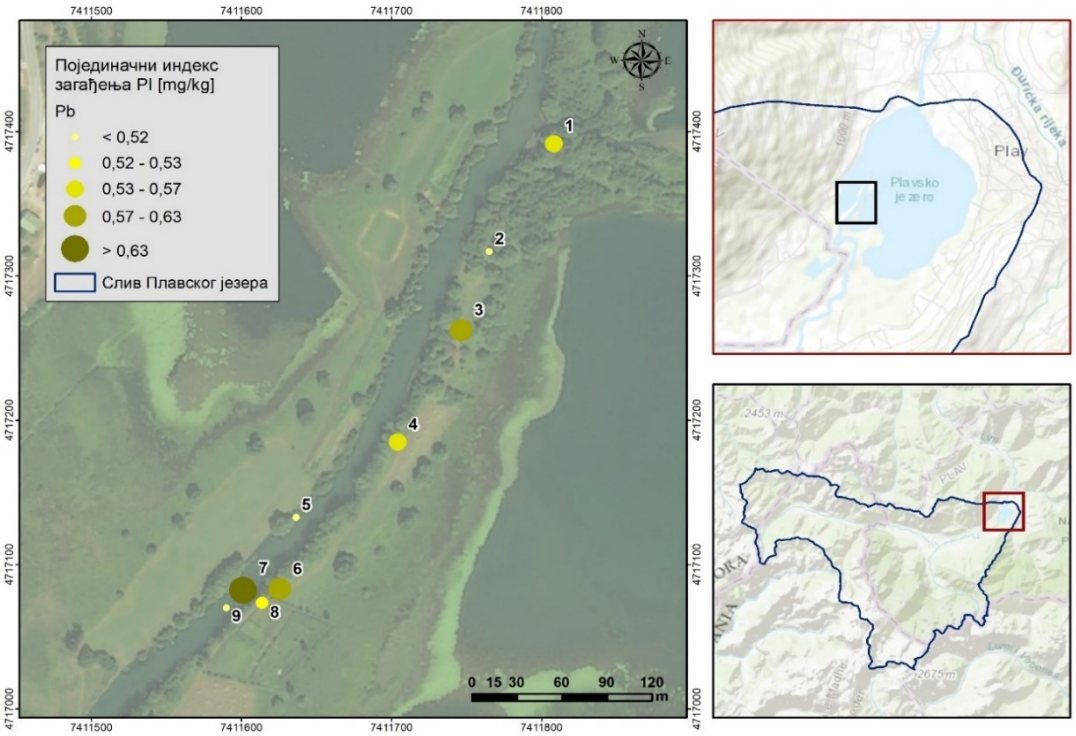
Прилог 4г



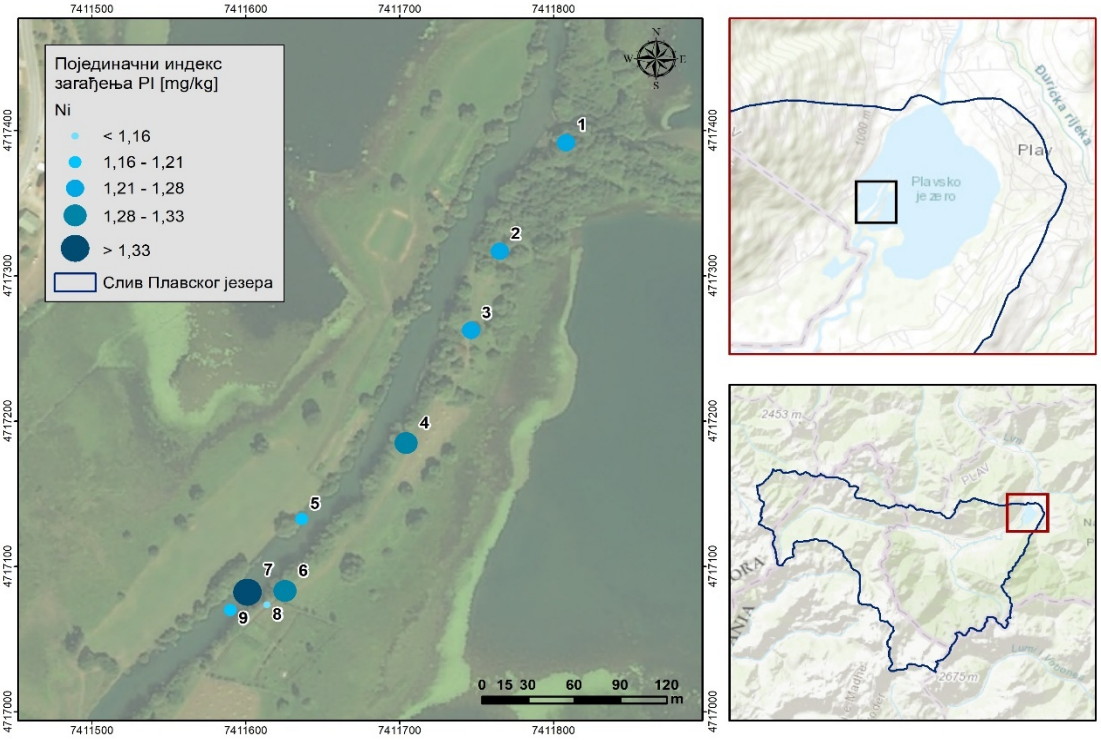
Прилог 4д



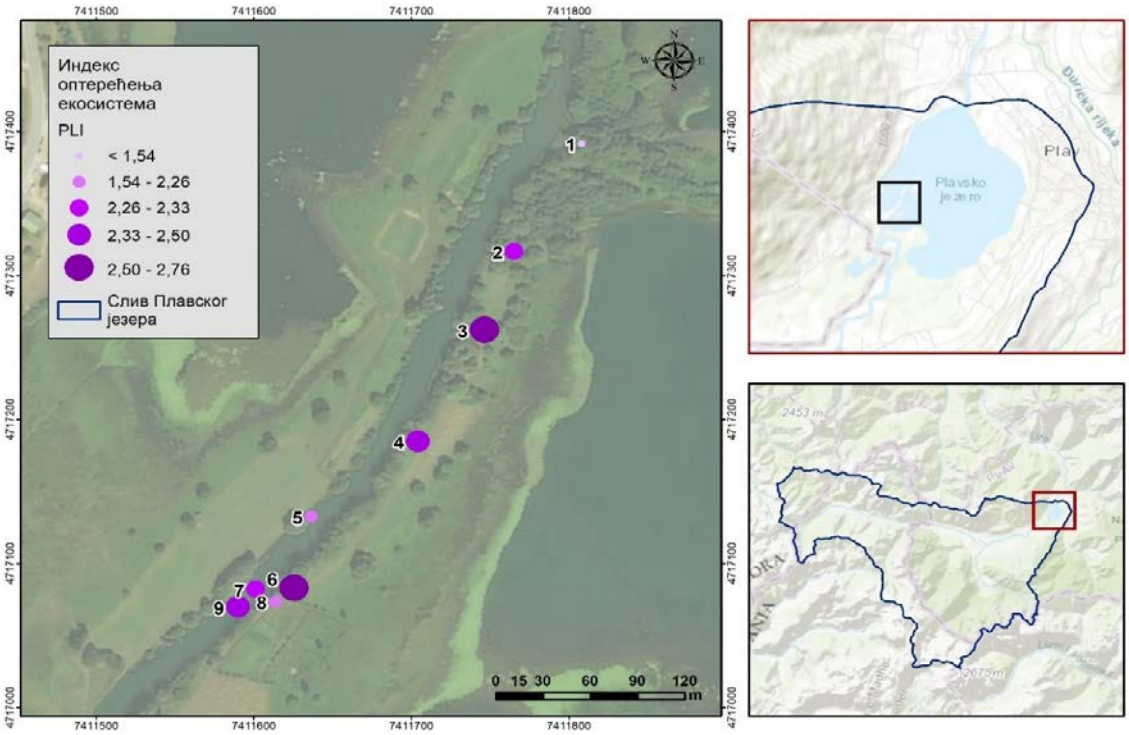
Прилог 4ђ



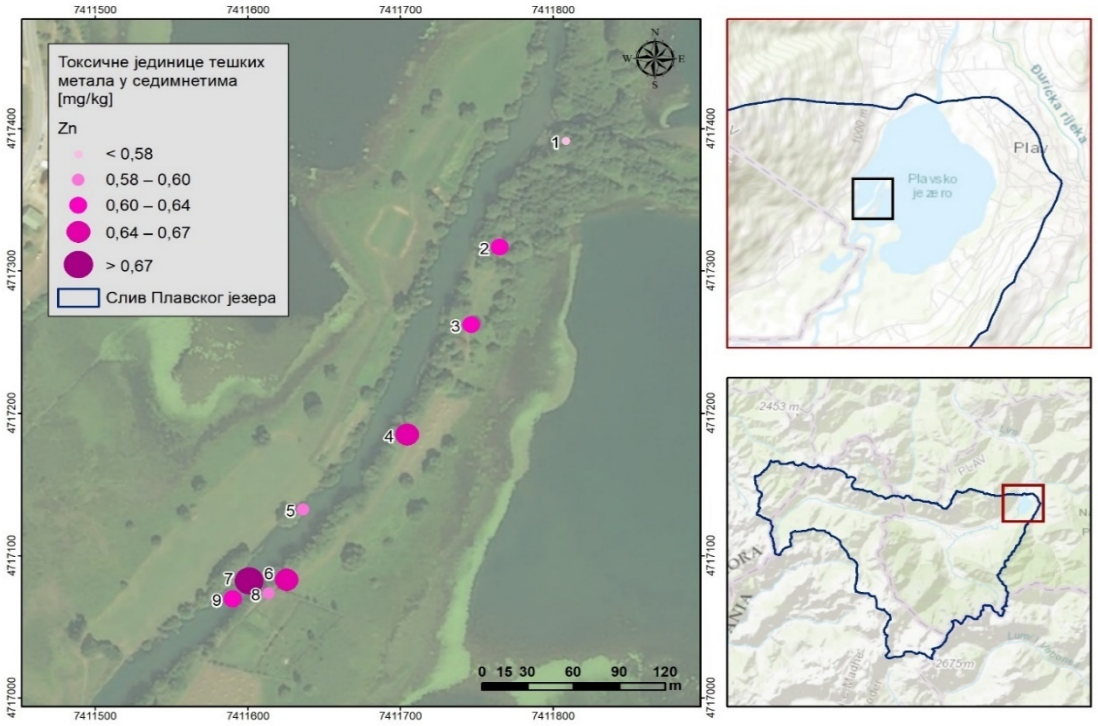
Прилог 4ж



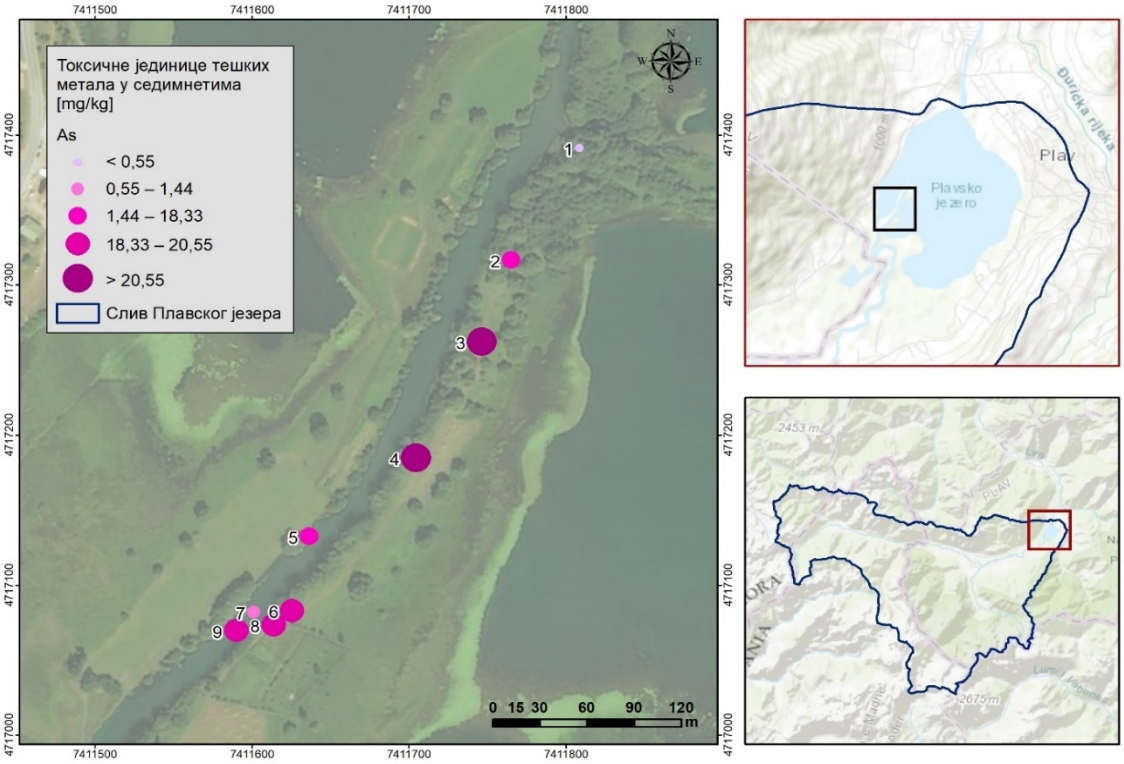
Прилог 4з



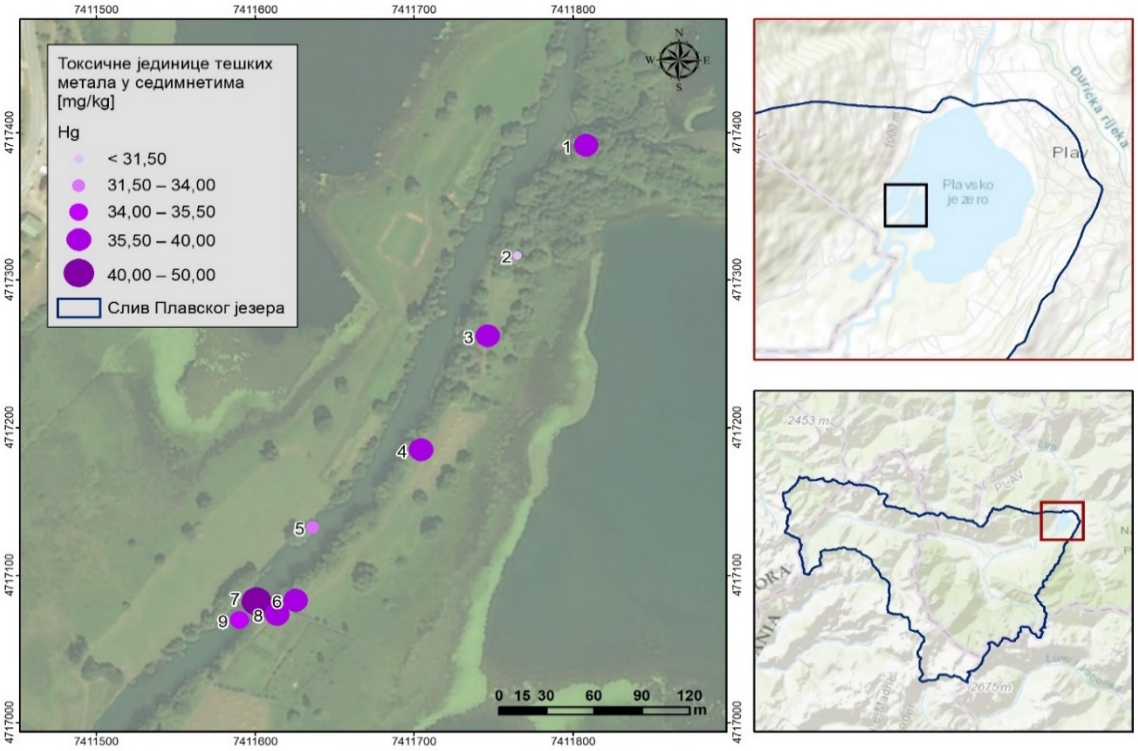
Прилог 5а



Прилог 5б

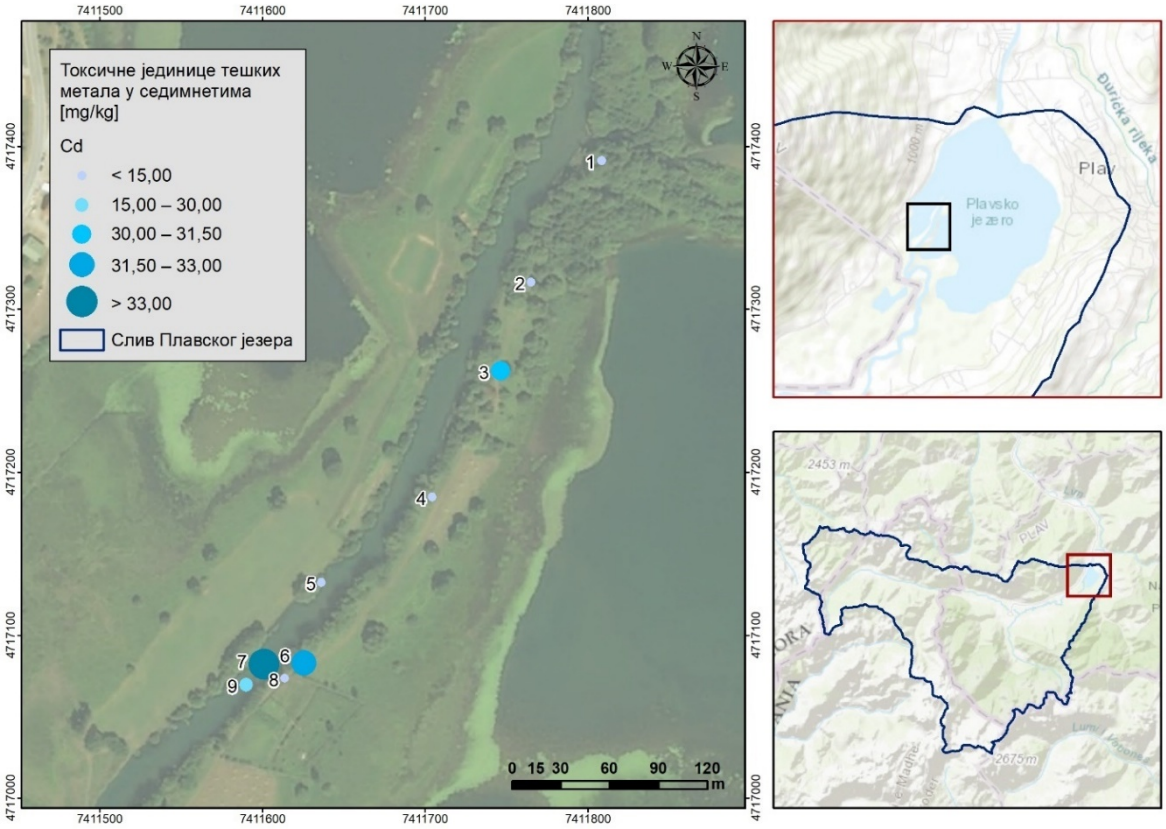


Прилог 5в

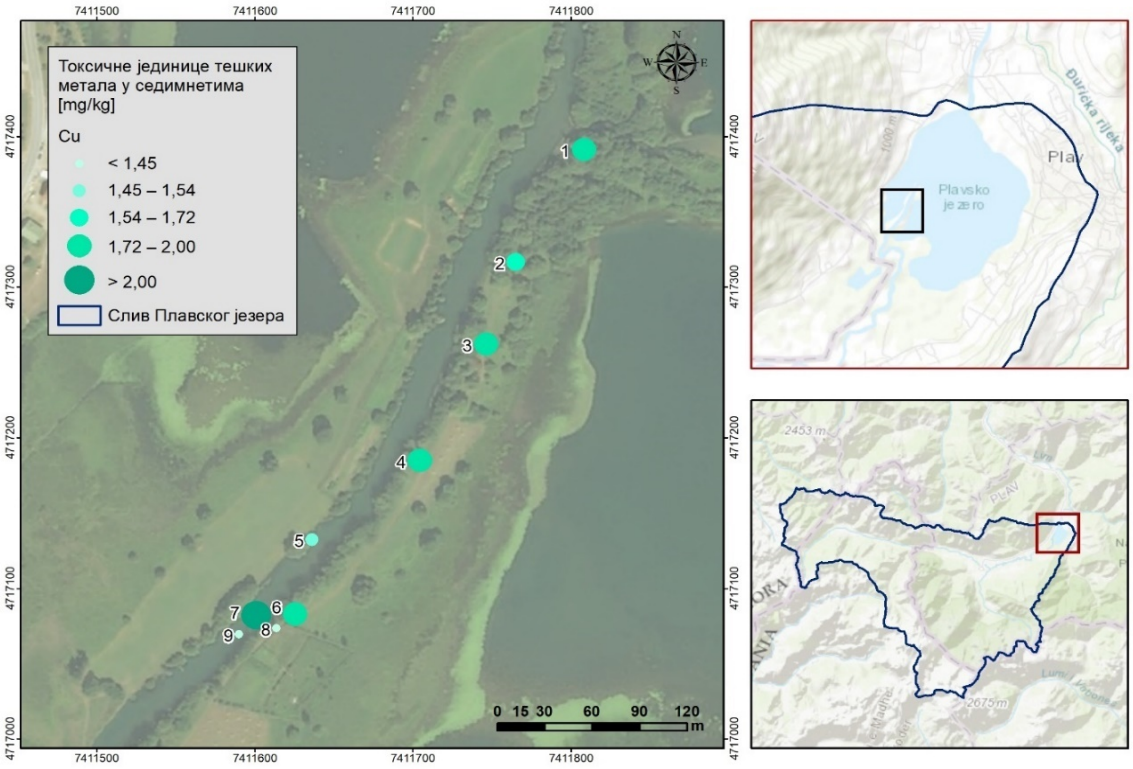


-

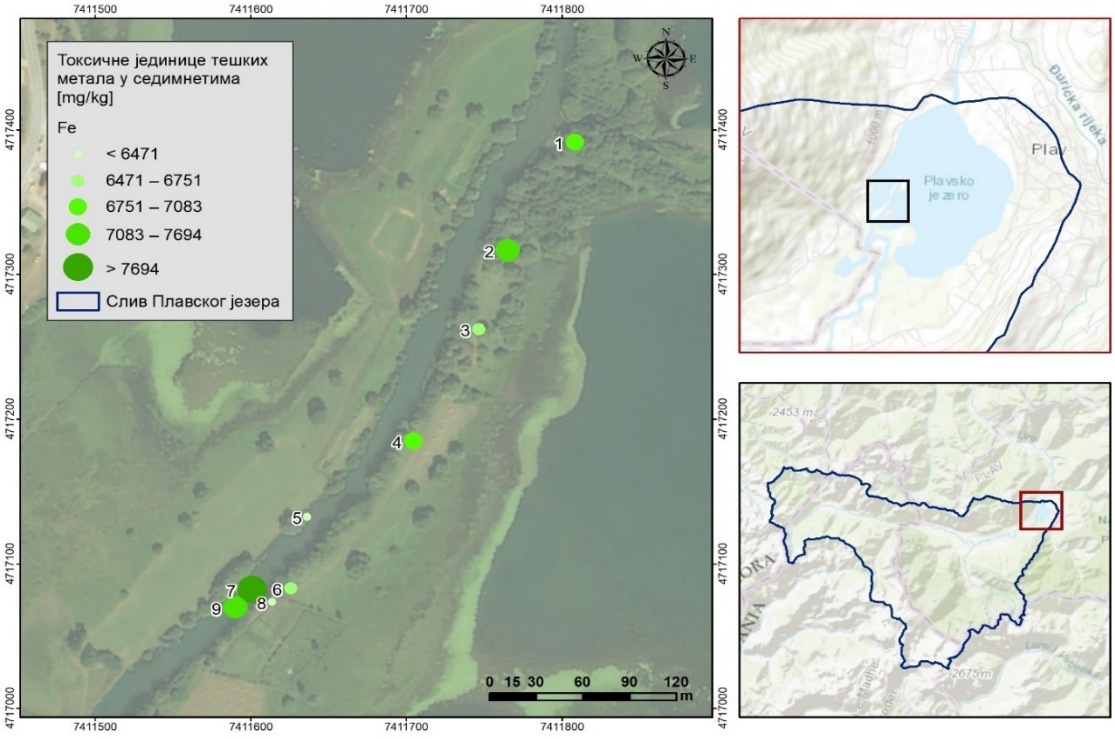
Прилог 5г



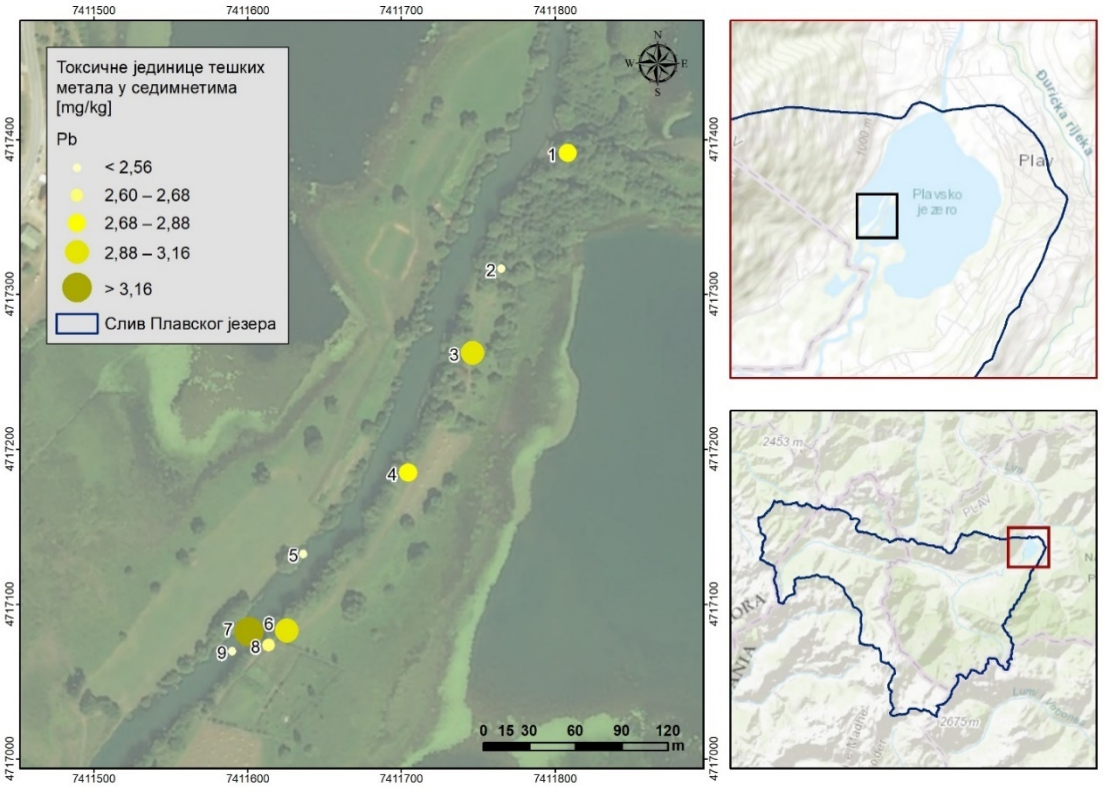
Прилог 5д



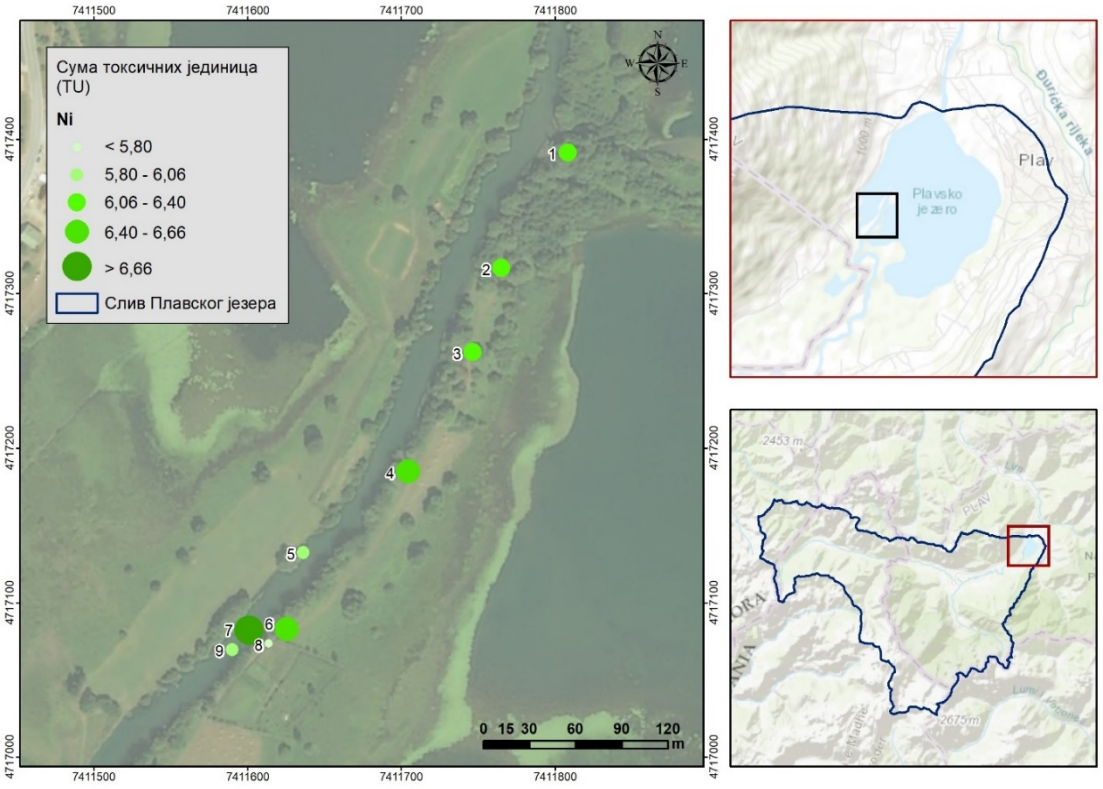
Прилог 5ђ



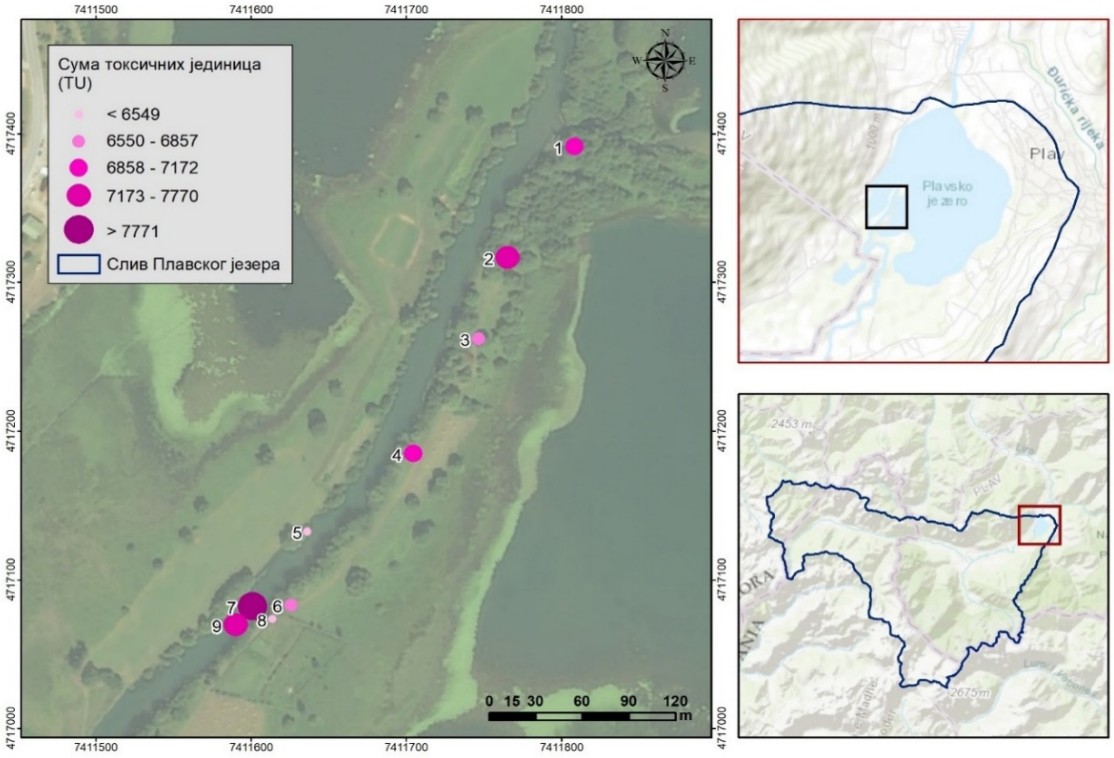
Прилог 5е



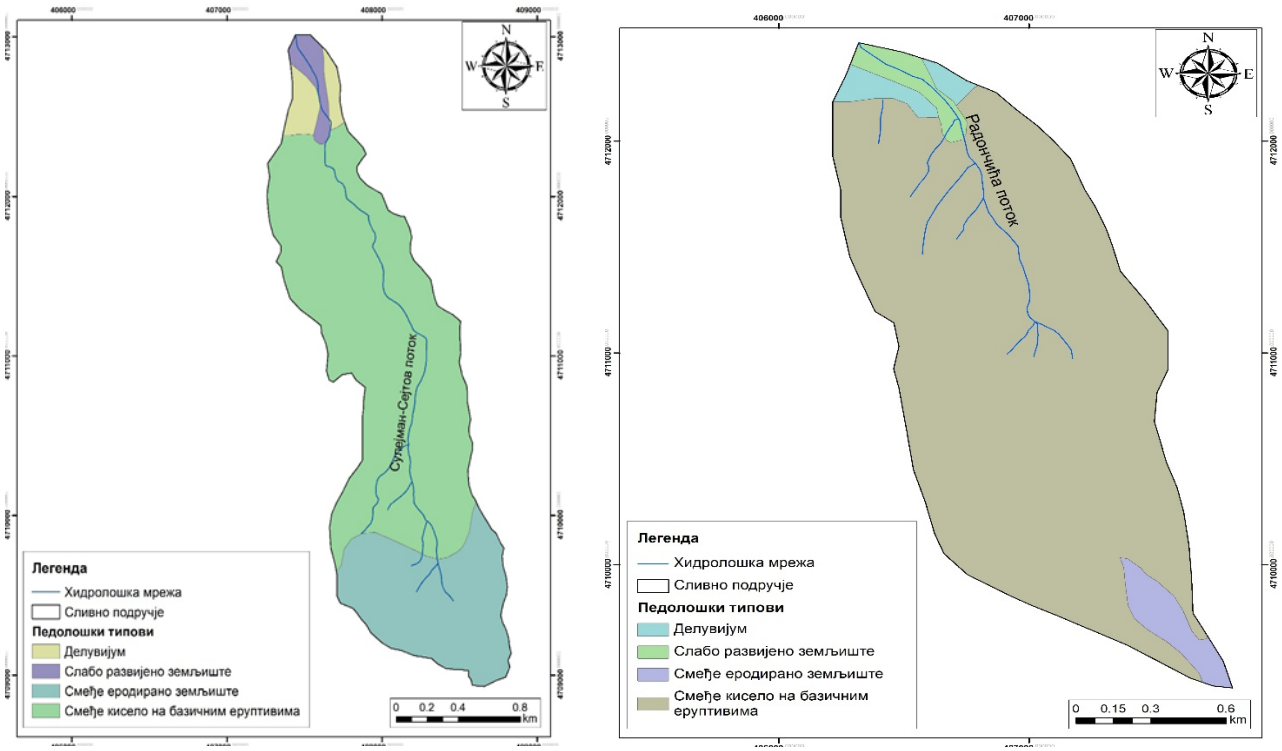
Прилог 5ж



Прилог 5з



Прилог 5и



Педолошке карактеристике Радончића и Сулејман Сејтовог потока

Прилог 5 ј



Кукића поток (аутор: Данијела Величковић, 12. 9. 2022. године)

Прилог 5к



Бистричица, притока Доље (аутор: Данијела Величковић, 12. 9. 2022. године)

Прилог 5л



Долина Гребаје, Гусиње (аутор: Данијела Величковић, 21. 9. 2022. године)

Прилог 5 љ



Ријека Луча, десна обала (аутор: Данијела Величковић, 21. 9. 2022. године)

Прилог 5 м



Ријека Доња (аутор: Данијела Величковић, 21. 9. 2022. године)

Прилог 5н



Јаружни и денудациони облици на падинама Проклетија

(аутор: Данијела Величковић, 21. 9. 2022. године)

БИОГРАФИЈА АУТОРА

Данијела (Марко) Величковић рођена је 23.03.1981. године у мјесту Олуја, општина Бијело Поље, Република Црна Гора. Основну школу „Павле Жижић“ у Његњеву и Средњу електро-економску школу, образовни профил електротехничар рачунара, завршила је у Бијелом Пољу.

Основне студије на Филозофском факултету у Никшићу, студијски програм Историја и географија, уписала је школске 1999/2000. године. Дипломирала је 26.10.2005. године, са просјечном оцјеном 7.80 одбранивши дипломски рад на тему „Бистрички крај – регионално-географски преглед“, чиме је стекла звање професора историје и географије.

Школске 2013/2014. године, односно 09.11.2013. године, уписала је специјалистичке студије на студијском програму Заштита животне средине, ужа научна област Заштита животне средине. Студије је завршила 2015. године са просјечном оцјеном Б (9,00). Специјалистички рад одбранила је на тему „Процјена риболовног притиска на Лиму и његовим притокама“, у оквиру којег је, на основу посредних показатеља, анализирала риболовни притисак на водама којима газдује Спортско-риболовно друштво „Сињавац“ — Бистрици, Љубовиђи и Лиму.

Магистарске академске студије уписала је школске 2014/2015. године на природно математичком факултету, Универзитет Црне Горе, а завршила 23.02.2018. године са просјечном оцјеном А (10). Магистарски рад одбранила је на тему: „Анализа загађености ријеке Лим и оцјена биоакумулације тешких метала у мишићном ткиву скобаља *Chondrostoma nasus* (Linnaeus, 1758) и клијена *Squalius cephalus* (Linnaeus, 1758)“. Научна област у којој је одбранила магистарски рад је Заштита животне средине.

Докторске академске студије на Универзитету у Београду-Шумарском факултету уписала је школске 2019/2020. године, на модулу М4: Еколошки инжењеринг у заштити земљишних и водних ресурса. Ауторка је и коауторка укупно 11 научних и стручних референци из области заштите животне средине, хидрологије, квалитета вода, ерозионих процеса и управљања водним ресурсима. Међу наведеним референцама посебно се издваја један рад објављен у међународном часопису са SCI листе, што представља значајан допринос њеном научноистраживачком раду. Поред тога, има радове објављене у националним часописима, саопштења штампана у цјелини у зборницима научних и стручних скупова, као и апстракт у зборнику апстраката са међународне конференције.

Запослена је као наставник у ОШ „Браћа Рибар“ у Затону, општина Бијело Поље. Поред рада у образовању, обавља и функцију директорице невладине организације Ронилачки клуб „Тим

ајкула“. У оквиру рада невладине организације била је координаторка и предавачица на више од 40 пројеката из области екологије, који су финансирани од стране Министарства туризма, екологије, одрживог развоја и развоја сјевера, Министарства капиталних инвестиција, Министарства саобраћаја, Министарства енергетике и рударства, Министарства просвјете науке, културе и спорта, Секретаријата за рурални и одрживи развој општине Бијело Поље Екофонда-Фонда за заштиту животне средине Црне Горе. У току професионалног рада стекла је стручна звања у области образовања: звање наставник ментор, дана 29.11.2019. године, и звање наставник савјетник, дана 29.11.2021. године. Медијски је препозната еколошка активисткиња, која је својим радом дала значајан допринос промоцији заштите животне средине, одрживог развоја и подизању свијести јавности о еколошким питањима.

Учествовала је у преговарачком поглављу 27 – Животна средина, у процесу приступања Црне Горе Европској унији, у својству чланице. Чланица је више тимова у општини Бијело Поље, међу којима су тимови за праћење стања нелегалних одлагалишта, унапређење квалитета ваздуха и израду Плана заштите животне средине.

Такође, чланица је бројних комисија испред невладиног сектора у области екологије и образовања. Добитница је награде из Фонда за таленте за најбољег наставника 2019/2020.године. Као ментор ученицима, остварила је значајне резултате на такмичењима из области екологије и географије. Њени ученици су освајали прва, друга и трећа мјеста на Националној еколошкој олимпијади у Бору, државном такмичењу из георафије, као и запажене резултате на Јуниорској међународној еколошкој олимпијади IYECO 2019. и 2020. године.

Изјава о ауторству

Име и презиме аутора: Данијела Величковић
Број индекса: 2/2019

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

„Интегрална противерозиона заштита непосредног окружења слива Плавског језера од границе са Албанијом до Плава“

- 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: Данијела Величковић
Број индекса: 2/2019
Студијски програм: Еколошки инжињеринг у заштити земљишних и водних ресурса
Наслов рада: „**Интегрална противерозиона заштита непосредног окружења слива Плавског језера од границе са Алабанијом до Плава“**

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:

„Интегрална противерозиона заштита непосредног окружења слива Плавског језера од границе са Албанијом до Плава“

Интегрална противерозиона заштита непосредног окружења слива Плавског језера од границе са Албанијом до Плавакоја 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**. Дозвољавате 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**. Дозвољавате 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**. Дозвољавате 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**. Дозвољавате 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**. Дозвољавате 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**. Дозвољавате 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.